



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL DE FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Elèctrica**

# **DISSENY D'UN SISTEMA DE GESTIÓ D'ENERGIA PER A UN HABITATGE UNIFAMILIAR**



## **Memòria i Annexos**

<b>Autor:</b>	Caterina Andreu i Julià
<b>Director:</b>	Robert Piqué
<b>Convocatòria:</b>	Octubre 2017



## Resum

En un present de creixement continu de la demanda energètica, d'esgotament de combustibles fòssils i de contaminació mediambiental; en una realitat d'efecte hivernacle i de canvi climàtic és necessari reconduir el model energètic actual en un de més sostenible.

Partint d'aquest escenari, en el projecte s'estudia la incorporació d'energia renovable fotovoltaica i un sistema per emmagatzemar-la en qualsevol habitatge unifamiliar que estigui subministrat per energia de la xarxa convencional. El treball es centra en el control dels fluxos de potència i l'aplicació d'una estratègia de control per fer-ne una gestió més eficient. L'estratègia aplicada és una combinació del *peak shaving* (anivellació dels pics de demanda) i el *load shifting* (desplaçament de càrregues no crítiques).

El projecte proposa un mètode a seguir basat amb la normativa ISO 50001 i s'aplica a un cas concret d'habitatge unifamiliar a Mallorca. Finalment, s'extrauen simulacions del funcionament del *HEMS* (sistema de gestió d'energia en una llar) proposat amb el software dissenyat.

## Resumen

En un presente de crecimiento continuo de la demanda energética, de agotamiento de combustibles fósiles y de contaminación medioambiental; en una realidad de efecto invernadero y de cambio climático es necesario reconducir el modelo energético actual a uno más sostenible.

Partiendo de este escenario, en el proyecto se estudia la incorporación de energía renovable fotovoltaica y un sistema para almacenarla en cualquier vivienda unifamiliar que esté suministrada por energía de la red convencional. El trabajo se centra en el control de los flujos de potencia y la aplicación de una estrategia de control para conseguir una gestión más eficiente. La estrategia aplicada es una combinación del *peak shaving* (nivelación de los picos de demanda) y el *load shifting* (desplazamiento de cargas no críticas).

El proyecto propone un método a seguir, basado en la normativa ISO 50001 y se aplica a un caso concreto de vivienda unifamiliar en Mallorca. Finalmente, se extraen simulaciones del funcionamiento del *HEMS* (sistema de gestión de energía en un hogar, por su sigla en inglés) propuesto con el software diseñado.

## Abstract

Continued growth in energy demand, depletion of fossil fuels, environmental pollution, greenhouse effect and climate change are reasons that show us the necessity to redirect the current energy model into a more sustainable one.

Having this scenario in mind, the project studies the adoption of renewable photovoltaic energy and a storage system in any single-family housing that is supplied by the conventional grid. The work focuses on the control of the power flows and the use of a control strategy to achieve higher efficiency. The applied strategy is a combination of *peak shaving* and *load shifting* strategies.

A method of application is proposed based on ISO 50001 standard and it is applied in a specific single-family house in Mallorca. Finally, a simulation of the proposed HEMS (Home Energy Management System) functionalities is presented along with the software that has been designed for this.



# Índex

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓ</b>	<b>8</b>
1.1	Objectius del treball	8
1.2	Abast del treball	9
<b>2</b>	<b>MARC NORMATIU</b>	<b>11</b>
2.1	Normativa general	11
2.2	Normativa Espanyola: Llei del Sector Elèctric i Autoconsum	14
<b>3</b>	<b>MARC FÍSIC: MICRO-XARXA I HEMS</b>	<b>19</b>
3.1	Definició i contextualització	19
3.2	Tipus de micro-xarxes	21
3.3	Components de la micro-xarxa	22
3.3.1	Tecnologia fotovoltaica	23
3.3.2	Sistemes d'emmagatzematge: bateries	25
3.3.3	Càrregues energètiques	26
3.4	Part física del HEMS	30
<b>4</b>	<b>MÈTODE DE CONCEPCIÓ</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>MARC LÒGIC: DISSENY DEL SISTEMA DE GESTIÓ ENERGÈTICA</b>	<b>32</b>
5.1	Estratègies de control	32
5.2	Objectius del HEMS	33
5.3	Anàlisi dels fluxos de potència	34
5.4	Diagrames de fluxos proposats	36
5.4.1	Generació fotovoltaica	37
5.4.2	Xarxa convencional	38
5.4.3	Bateries	40
5.4.4	Càrregues	41
<b>6</b>	<b>CAS CONCRET D'APLICACIÓ.</b>	<b>44</b>
6.1	Estudi de la instal·lació existent	44
6.1.1	Emplaçament	44
6.1.2	Estudi de les càrregues connectades	47
6.1.3	Estudi dels perfils de càrregues	50
6.2	Dimensionament de la potència màxima de la xarxa	58
6.3	Dimensionament de la instal·lació fotovoltaica	60

6.3.1	Avaluació del recurs solar .....	60
6.3.2	Potència fotovoltaica instal·lada.....	66
6.4	Dimensionament de l'inversor .....	68
6.5	Dimensionament de bateries .....	70
<b>7</b>	<b>SIMULACIONS .....</b>	<b>74</b>
7.1	Simulació d'un dia.....	74
7.2	Simulació de sis dies .....	84
<b>8</b>	<b>ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL .....</b>	<b>91</b>





# 1 Introducció

En un present de creixement continu de la demanda energètica, d'esgotament de combustibles fòssils i de contaminació mediambiental amb efectes molt desfavorables com l'efecte hivernacle i el canvi climàtic és necessari fer la reflexió sobre quin és el cost real del sistema elèctric, tant de la producció d'energia, com de la distribució i del consum, que funciona en el present. Un cost que tingui en compte no només el capital, sinó l'impacte que això té sobre el planeta i les persones.

Aquest treball es contextualitza dins del que s'anomena xarxes intel·ligents. Aquest concepte reuneix els conceptes d'eficiència energètica, sostenibilitat, fiabilitat i seguretat mitjançant una transformació de les infraestructures elèctriques actuals. Es tracta del canvi d'un sistema aïllat, unidireccional i no intel·ligent a un sistema intel·ligent, automàtic i flexible on el flux tant d'energia com d'informació sigui bidireccional.

Un dels objectius de l'ús de les xarxes intel·ligents és la generació distribuïda de l'electricitat (en contraposició a la centralització de la producció) i la integració de les energies renovables. Per aquest motiu, el paper passiu dels consumidors es veurà transformat en un paper actiu: els consumidors també serem productors (sobretot d'energia neta) i podrem interactuar amb el sistema. Això implicarà que es redueixin les pèrdues en la infraestructura perquè els punts de generació i consum seran el mateix i també una millor eficiència alhora d'equilibrar la corba entre generació i demanda.

Aquest treball és el resultat de la presa de consciència del paper actiu que podem tenir els consumidors per millorar l'eficiència dels nostres habitatges mitjançant la introducció d'energies renovables i sistemes d'emmagatzematge i canviant els nostres hàbits de consum.

## 1.1 Objectius del treball

L'objectiu d'aquest treball és realitzar una proposta per millorar l'eficiència energètica d'un habitatge unifamiliar. Per això, s'introduirà la generació d'energia fotovoltaica i bateries per emmagatzemar-la. A més, es proposarà un sistema de gestió tant de l'energia produïda com de l'energia consumida de manera que tot s'acabi reflectint en un estalvi econòmic.

## **1.2 Abast del treball**

Per tal d'assolir els objectius, aquest projecte partirà d'un anàlisi del marc normatiu de la zona per poder avaluar les diferents opcions en què es pot desenvolupar el treball, començant per la ISO 50001. Es seguirà d'un anàlisi dels fluxos de potència possibles en un habitatge quan s'implementa energia fotovoltaica i emmagatzematge i es definiran els que seran estudiats. Es farà un estudi de les diferents estratègies de gestió del consum energètic en una llar. Tota això, s'acabarà estudiant per un habitatge unifamiliar en concret ubicat a l'illa de Mallorca: es realitzarà un estudi del consum, posteriorment un estudi del recurs solar de l'habitatge, es seleccionarà i es dimensionarà la instal·lació de panells fotovoltaics i de bateries i s'avaluarà econòmicament la proposta. Es dissenyarà un sistema que permeti millorar l'eficiència controlant els fluxos de potència i aplicant una estratègia de control. Per verificar-lo, es programarà una aplicació que simularà el comportament de la micro-xarxa. Finalment se n'extrauran unes conclusions.



## 2 Marc Normatiu

### 2.1 Normativa general

El projecte es fonamenta com a punt de partida amb la normativa ISO 50001 [1]. Aquesta normativa pretén millorar l'eficiència energètica de les organitzacions de manera continuada. Presenta un mètode d'avaluació, actuació i revisió constant perquè es puguin reduir costos i respectar més el medi ambient.

L'esquema que proposa aquest estàndard i que és aplicable en aquest treball s'explica a continuació.

La Política Energètica és l'àmbit que engloba el pla d'actuació per la millora de l'eficiència energètica. És important que estigui en revisió contínuament perquè es pugui adaptar en els futurs canvis que hi pugui haver.

El primer pas en el procés és la planificació energètica, seguida per l'aplicació i operació i finalment la verificació.



**Figura 1.** Esquema del procediment a aplicar segons la ISO 50001.Font: [1].

### Planificació Energètica

- 1) Auditoria : Ús en el passat i en el present d'energia.  
Es necessita:
  - Dades d'operació: mesures d'energia consumida i factures d'electricitat
  - Ús d'indicadors per facilitar la interpretació d'aquestes dades. Per exemple, l'indicador EI (intensitat energètica) mesura el consum en relació a un de referència.
  - Valoracions relacionades amb el consum: detalls de l'edifici, estudi de càrregues.
  - Altres estudis: estudis energètics anteriors, recull dels progressos.
- 2) Identificar les àrees en què es puguin aplicar millores energètiques
- 3) Desenvolupar propostes concretes
- 4) Elaborar un informe que contingui:
  - El patró de consum
  - Les propostes amb els càlculs tècnics
  - La planificació per a la implementació
- 5) Definició d'objectius i línia base d'actuació
  - Millora reflectida en els indicadors
  - Reducció del consum en cada període

**Taula 1.** Planificació energètica segons l'ISO 50001. Font: Generació pròpia.

### Aplicació i Operació

- 1) Competència, coneixement i entrenament en matèria energètica
- 2) Documentació
- 3) Control i revisió d'operació
- 4) Disseny apropiat. Incorporar mesures com:
  - Ús de convertidors eficients
  - Minimitzar les pèrdues de potència
  - Integrar sistemes d'il·luminació de baix consum
  - Integració/optimització del calor residual
  - Coneixença de totes les càrregues que poden afectar al consum global

**Taula 2.** Aplicació i operació segons l'ISO 50001. Font: Generació pròpia.

### Verificació

- 1) Monitoratge de les mesures del consum, que serviran per l'anàlisi dels indicadors
- 2) Accions immediates, preventives i correctives d'acord amb els objectius

**Taula 3.** Aplicació i operació segons l'ISO 50001. Font: Generació pròpia.

## 2.2 Normativa Espanyola: Llei del Sector Elèctric i Autoconsum

Primer, cal aclarir el concepte d'autoconsum. Ens podem referir a l'autoconsum com a instal·lació aïllada no connectada a la xarxa, el qual no està regulat per normativa (i per tant, no han de contribuir amb els costos del sistema elèctric del país). I ens podem referir a l'autoconsum connectat a la xarxa. Aquest tipus té una normativa que el regula i que s'estudia a continuació [2].

A nivell espanyol, la normativa que regula el sector elèctric és la Llei 24/2013 [4]. Aquesta defineix l'autoconsum com el consum d'energia elèctrica provinent d'instal·lacions de generació connectades a l'interior d'una xarxa d'un consumidor. És el Real Decret 900/2015 [5] el que estableix les condicions administratives, econòmiques i tècniques d'aquesta modalitat.

El Real Decret diferencia dues modalitats d'autoconsum:

Modalitat	
Tipus 1: Modalitat de subministrament amb autoconsum	El propietari és el consumidor que produeix energia pel consum propi a l'interior de la xarxa. Són petits consumidors amb una potència instal·lada menor que 100 kW. Es permetrà inserir a la xarxa l'energia sobrant sense obtenir cap retribució.
Tipus 2: Modalitat de producció amb autoconsum	El consumidor està associat a una instal·lació de producció inscrita com a tal. En aquest règim es podrà vendre l'energia produïda al mercat elèctric. En formen part les instal·lacions que tenen una potència instal·lada major que 100 kW.

**Taula 4.** Tipus de modalitat segons RD 900/2015. Font: Generació pròpia.

Per tant, queda dins l'àmbit d'aquest projecte la modalitat 1 d'autoconsum, de la qual s'analitzaran els aspectes més rellevants.

Sobre les obligacions dels consumidors en la modalitat d'autoconsum [2]:

- Els consumidors hauran de sol·licitar una nova connexió i accés en la modalitat d'autoconsum a la distribuïdora, encara que no s'insereixi energia a la xarxa. El procediment de connexió i accés es desenvolupa al capítol II del RD 1699/2011.
- Els consumidors hauran d'abonar els peatges d'accés i els costos del sistema elèctric igual que la resta, segons el que indica l'article 9.3 de la Llei 24/2013 [4].

És a dir, la persona inscrita en l'autoconsum de tipus 1, haurà de pagar:



- Els costos de la xarxa: és a dir, els patges d'accés a les xarxes de transport i distribució, en funció de la potència contractada i l'energia mesurada en el punt frontera.
- Els costos generals de sistema: derivats pels extra costos dels sistemes no peninsulars i pel deute generat en el passat i els incentius de les renovables.
- Els costos de recolzament (també anomenat "Impost al Sol"): Són els costos que paguen els consumidors per cobrir el costos del sistema derivats d'equilibrar l'oferta i demanda en temps real. La normativa considera que tots els consumidors connectats a la xarxa se'n beneficien, estiguin o no aprofitant l'autoconsum.  
Aquest sobrecàrrec és funció de l'energia consumida horària neta.  
La normativa no concreta ni els criteris per determinar els costos d'aquests serveis ni el destí d'aquests ingressos.

Així i tot, després de la polèmica generada, el RD900/2015 eximeix de pagar aquest cost a [5]:

- Consumidors de Sistemes extra peninsulars (l'autoconsum permet reduir costos en aquests territoris).
- Transitòriament, fins el 31 de desembre de 2019. Consumidors amb menys de 10 kW de potència instal·lada i contractada.

S'analitzaran els costos a abonar perquè després ens poden ser útils alhora d'analitzar la viabilitat econòmica, aquests en el present (fins que s'aprovin els càrrecs del sistema i de recolzament) són:

- Peatges d'accés. S'estableixen al Real Decret 1164/2001 (Estableix les tarifes d'accés a les xarxes de transport i distribució d'energia elèctrica). [6]  
El peatge d'accés fix anual es calcularà com:

$$FP = \sum_{i=1}^n t_{pi} \cdot P_{fi} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

On:  $P_{fi}$  és la potència a facturar en el període tarifari  $i$  en kW,

$t_{pi}$  és el preu anual del terme de potència del període tarifari  $i$ .

$t_{pi}$  s'estableix a l'Ordre IET/107/2014, de 31 de Gener. (Revisió dels peatges d'accés per l'any 2014, vigent encara a l'any 2017). [7]

$t_{pi} = 38,043426 \text{ €/kW i any}$ , per a instal·lacions de potència instal·lada menor a 10 kW.

El peatge d'accés variable es calcularà com:

$$VP = \sum_{i=1}^n t_{ei} \cdot E_{fi} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

On:  $E_{fi}$  és l'energia a facturar en el període tarifari  $i$  en kWh,

$t_{ei}$  és el preu anual del terme d'energia del període tarifari  $i$ .

$t_{ei}$  s'estableix a l'Ordre IET/107/2014, de 31 de Gener. (Revisió dels peatges d'accés per l'any 2014, vigent encara a l'any 2017). Per a instal·lacions de potència instal·lada menor a 10 kW. [7]

- Sense discriminació horària (peatge 2.0):  $t_{ei} = 0,044027 \text{ €/kWh}$ .

- Amb discriminació horària (peatge 2.0 DHA):

$t_{ei} = 0,062012 \text{ €/kWh}$  (període 1) i  $t_{ei} = 0,02215 \text{ €/kWh}$  (període 2)

- Càrrecs transitoris. S'estableixen a l'Ordre ETU/1976/2016 de 23 de desembre. (Sobre els peatges d'accés d'energia elèctrica per 2017). N'hi ha de dos tipus, càrrec fix i càrrec variable. A continuació es consideren els càrrecs per instal·lacions de potència contractada menors a 10 kW.

Peatge d'accés	Càrrec fix (€/kW i any) al període 1
2.0 A ( $P_c \leq 10 \text{ kW}$ )	8,144129
2.0 DHA ( $P_c \leq 10 \text{ kW}$ )	8,144129

**Taula 5.** Peatge d'accés de càrrec fix segons l'Ordre ETU/1976/2016. Font: [8].

Peatge d'accés	Càrrec transitori per energia auto consumida (€/kWh)	
	Període 1	Període 2
2.0 A ( $P_c \leq 10 \text{ kW}$ )	0,043187	
2.0 DHA ( $P_c \leq 10 \text{ kW}$ )	0,057144	0,006148

**Taula 6.** Peatge d'accés de càrrec transitori segons l'Ordre ETU/1976/2016. Font: [8].

Component	Preu (€/kWh)
Retribució operador del mercat	0,000025
Retribució operador del sistema	0,000109
Servicio de continuïtat	0,002000
Serveis d'ajustament	0,003210

**Taula 7.** Peatge d'accés de càrrec transitori segons l'Ordre ETU/1976/2016. Font:[8].

Nota: Els consumidors d'autoconsum (tipus 1) de les Illes Balears amb potència contractada menor a 10 kW no hauran de pagar el càrrec transitori [5].

- c) Els consumidors s'hauran d'inscriure en el Registre Administratiu d'autoconsum. El tipus 1 s'inscriurà a la secció primera pel titular del punt de subministrament en un període màxim d'un mes des del contracte d'accés. L'incompliment serà sancionat. (Article 21 del RD900/2015) [5].
- d) Els consumidors hauran de romandre en la modalitat d'autoconsum com a mínim un any, prorrogable.

Sobre el règim econòmic (energia consumida i excedentària) d'aquesta modalitat:

Segons l'article 15 del Real Decret 900/2015 [5], el pagament de l'energia consumida serà la corresponent a la demanda horària, és a dir, l'energia neta horària rebuda de la xarxa de distribució. Si el consumidor l'adquireix directament de mercat, el preu l'estipularà la normativa de liquidació de mercat i si l'adquireix per part d'una comercialitzadora, el contracte pactat en base a les lectures dels comptadors.

No hi ha pagament per l'energia excedent inserida a la xarxa a la modalitat 1, només a la modalitat 2, es retribuirà per l'excedent horari net inserit.

#### Contradiccions de la normativa espanyola respecte dels objectius europeus.

La normativa espanyola presenta unes quantes contradiccions respecte dels objectius europeus i per les quals ha creat molta polèmica. Les principals contradiccions són [2]:

- 1) L'autoconsum de tipus 1 no té dret a retribució per l'energia excedent abocada a la xarxa.
- 2) No es considera la implementació de bateries com una mesura d'estalvi i eficiència energètica. El sistema elèctric no concedeix cap incentiu per posar en pràctica aquestes mesures.

- 3) Prohibició de associacions de consumidors. Segons el RD 900/2015, no es podrà connectar cap generador a la xarxa interior de varis consumidors. Perjudica a les comunitats de propietaris.
- 4) Aplicació de peatges d'accés, costos del sistema i costos de recolzament. Perjudiquen directament als consumidors que aposten per l'autoconsum, sobretot l'impost al Sol. Encara que el juliol de 2015 la majoria dels partits polítics, excepte el Partit Popular, firmaren un pacte per abolir-lo després de les pròximes eleccions.
- 5) No es considera el "net metering" o balanç net d'energia, és a dir, que es pugui inserir l'energia excedent a la xarxa quan hi ha generació i recuperar-la a les hores que no hi ha generació, a canvi d'una quota de manteniment o compensació. Aquesta política energètica funciona a molts països com Alemanya, Portugal, Grècia, Itàlia o Dinamarca.

La normativa espanyola referent al sector elèctrica demostra una clara inclinació partidista, caracteritzada per ser una normativa dèbil i canviant que no atén als objectius de la Unió Europea en quant a reduir la dependència als combustibles fòssils i les emissions dels gasos d'efecte hivernacle. Per tant, és segur dir que la normativa canviarà en els pròxims anys i s'espera que sigui millorant i incentivant les energies renovables.

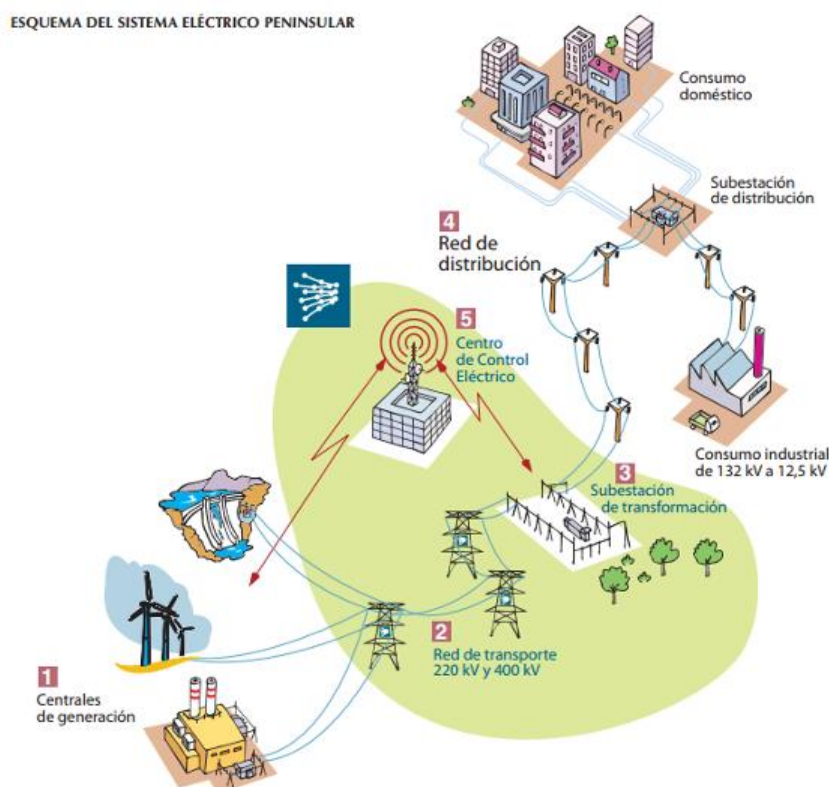
### 3 Marc físic: micro-xarxa i HEMS

#### 3.1 Definició i contextualització

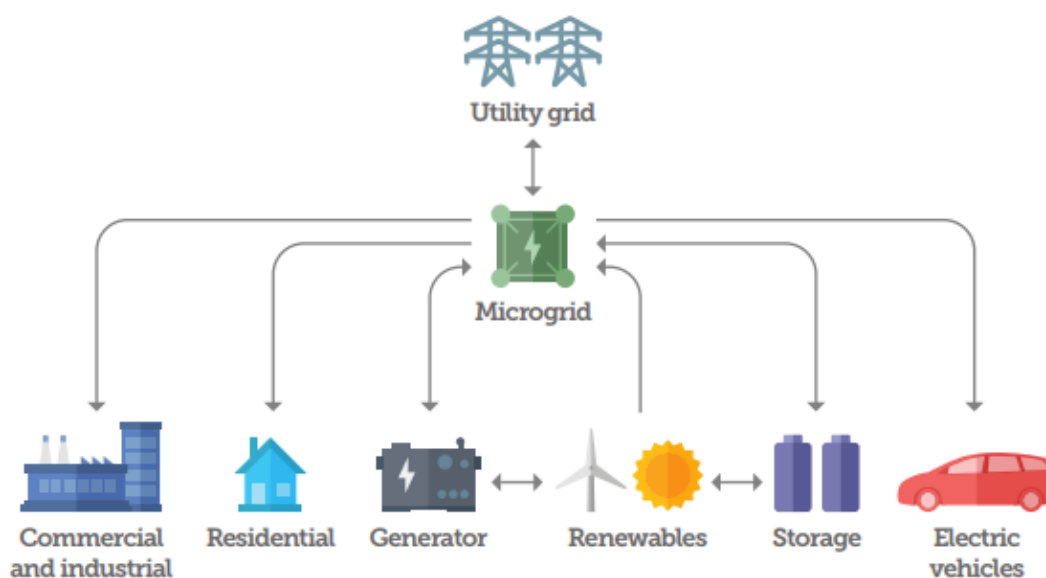
El sistema físic energètic en el qual s'acull aquest projecte és les xarxes intel·ligents i més concretament, la micro-xarxa.

Una micro-xarxa és un conjunt de fonts d'energia i càrregues que operen connectades i sincronitzades amb la macro-xarxa centralitzada, encara que es poden desconnectar i funcionar de manera autònoma responnent a una política/estratègia de control. Per operar d'aquesta manera, són necessaris sistemes d'emmagatzematge.

En la primera imatge es pot veure l'esquema sistema elèctric actual de l'estat espanyol (centralitzat). Per contra, en la segona imatge, es mostren tots els elements que integren les micro-xarxes intel·ligents, que es distribuïrien d'una forma descentralitzada.



**Figura 2.** Esquema del sistema elèctric peninsular. Font: REE [9]



**Figura 3.** Esquema per il·lustrar la definició de micro-xarxa. Font: [10].

Un dels avantatges de les microxarxes són que permeten el que s'anomena generació distribuïda. La generació distribuïda consisteix en la producció de l'energia elèctrica en molts punts ubicats prop de les zones de consum. Reduint aquesta distància s'aconseguiria minimitzar les pèrdues de transport. Les microxarxes balancegen la corba d'oferta-demanda per optimitzar la distribució i generació a l'àrea que estan ubicades[11].

El model actual de producció elèctrica a gran escala canviaria a petita escala, amb la idea que els consumidors també puguin esdevenir productors i a més, si s'impulsen aquest tipus de polítiques, esdevindrien productors d'energia sostenible.

A més a més, passar d'una producció centralitzada a descentralitzada suposaria no dependre tant de les grans centrals productores ni de les grans infraestructures. És a dir, en el moment en que hi ha un problema en una de les centrals o per exemple, manteniment o modificació de les infraestructures, una menor part dels usuaris en resultarien afectats quan es tracta de generació distribuïda. És a dir, el nivell d'afectació davant una inestabilitat seria molt més petit i, per tant, el sistema seria més estable.

## 3.2 Tipus de micro-xarxes

Les micro-xarxes es poden classificar de diferents maneres que s'expliquen a continuació [12].

Una forma de classificar-les és segons la connexió o desconnexió de la macro-xarxa com es mostra a la taula.

	Tipus d'instal·lacions
Connectades a la macro-xarxa	Instal·lacions militars, serveis d'emergència o serveis crítics
	Instal·lacions on la xarxa és inestable
	Instal·lacions de dimensions petites
Aïllades de la macro-xarxa	Instal·lacions remotes

**Taula 8.** Tipus de micro-xarxes segons la connexió. Font: generació pròpia.

El primer tipus de micro-xarxes són instal·lacions militars, serveis d'emergència com per exemple hospitals o crítics, que poden ser centres de dades i telecomunicacions, centres policials o estacions de gas. Són instal·lacions que no poden estar sense subministrament i adopten la micro-xarxa com un sistema en cas d'apagada de la macro-xarxa. Aquests sistemes han d'estar preparats per abastar energia tant en períodes llargs de desconnexió, com en períodes curts o de baixa qualitat del subministrament.

Les universitats i altres instal·lacions institucionals són també en un exemple creixent del tipus 1. Són instal·lacions que la inversió depèn d'un sol propietari, l'estat.

El segon tipus fan referència a llocs on la macro-xarxa és inestable, la major part dels casos es troben en els països en vies de desenvolupament. La diferència amb el tipus 1 és que no necessiten el mateix nivell de fiabilitat.

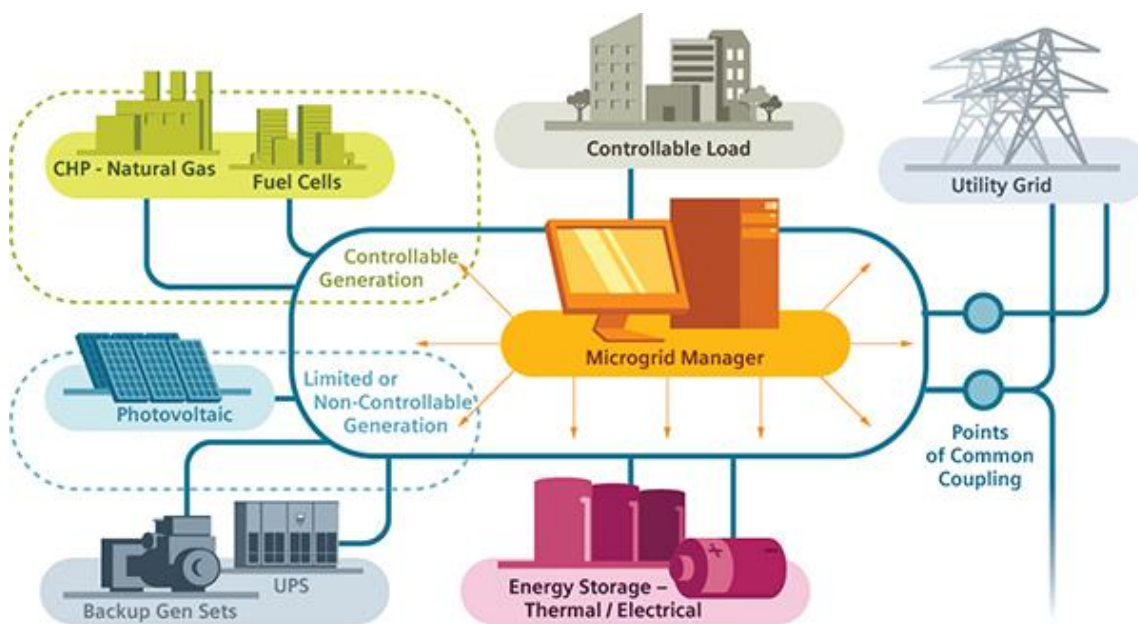
El tercer tipus són les instal·lacions remotes. Les micro-xarxes esdevenen l'opció més viable en el cas de les instal·lacions que per la seva localització no poden estar connectades a la macro-xarxa.

El quart tipus són instal·lacions petites a nivell residencial. Aquest tipus està actualment en desenvolupament, però que té gran perspectiva de futur amb la incorporació de vehicles elèctrics en

el mercat i solucions d'emmagatzematge menys costoses. En aquest grup s'hi sumaria el present treball.

### 3.3 Components de la micro-xarxa

Els components d'una micro-xarxa es poden veure a la figura següent.



**Figura 4.** Components d'una micro-xarxa. Font: Siemens.

Els components principals que s'hauran de tenir en compte en aquest treball són:

- Generació d'origen renovable (Generació principal, però limitada)
- Generació convencional (Generació normalment de reserva, pot existir o no)
- Sistemes d'emmagatzematge
- Sistema de gestió
- Punts d'acoblament a la xarxa convencional
- Consum (càrregues crítiques, no crítiques)

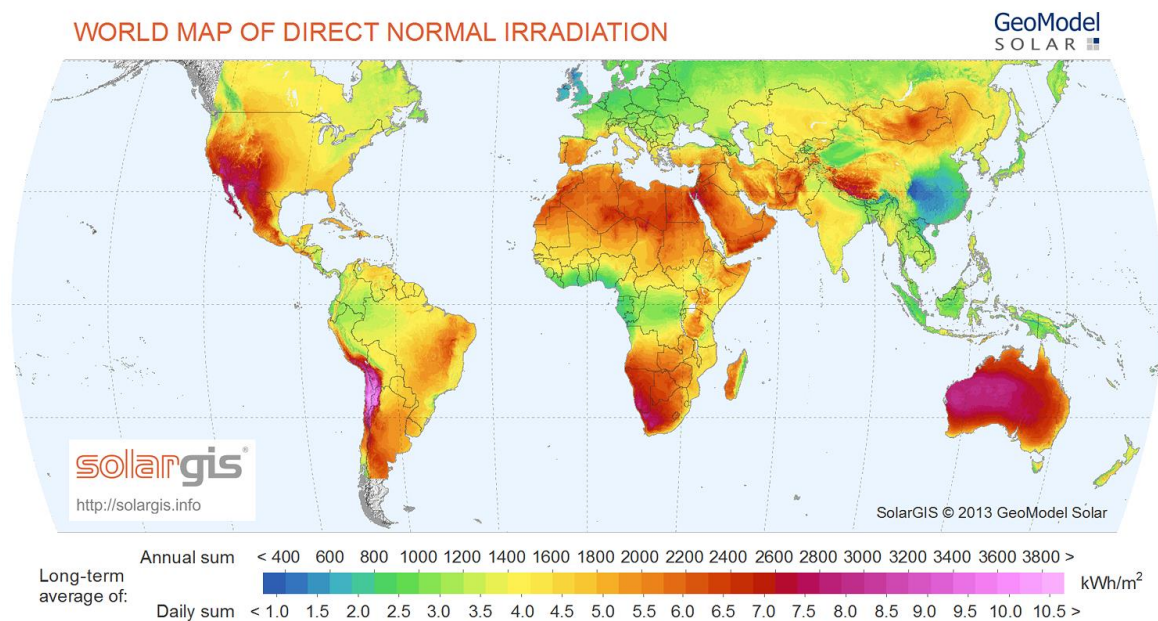
A continuació s'introduiran i s'explicaran breument les tecnologies usades en aquest projecte, que es corresponen en els components de la micro-xarxa.



### 3.3.1 Tecnologia fotovoltaica

#### Situació espanyola

Espanya, tot i ser un dels països amb més irradiància d'Europa, la potència fotovoltaica instal·lada no ha deixat de baixar des del 2008, any en què les retribucions per les energies renovables es varen deixar de concedir [15].

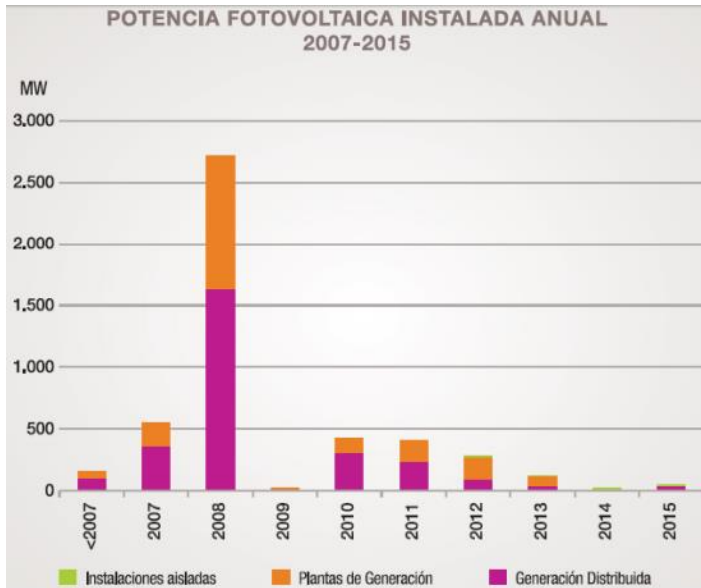


**Figura 5.** Irradiància global. Font: GeoModel Solar.

Alemanya, Itàlia, Anglaterra i França tenen major potència instal·lada que Espanya. A més a més, l'any 2016 l'energia solar fotovoltaica va cobrir el 3% de la demanda elèctrica anual d'Espanya, a diferència de més del 7% de la demanda elèctrica en altres països europeus com Itàlia, Grècia i Alemanya.

TOP 10 COUNTRIES IN 2015 FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				TOP 10 COUNTRIES IN 2015 FOR CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY			
1		China	15,2 GW	1		China	43,5 GW
2		Japan	11 GW	2		Germany	39,7 GW
3		USA	7,3 GW	3		Japan	34,4 GW
4		UK	3,5 GW	4		USA	25,6 GW
5		India	2 GW	5		Italy	18,9 GW
6		Germany	1,5 GW	6		UK	8,8 GW
7		Korea	1 GW	7		France	6,6 GW
8		Australia	0,9 GW	8		Spain	5,4 GW
9		France	0,9 GW	9		Australia	5,1 GW
10		Canada	0,6 GW	10		India	5 GW

**Taula 9.** Els 10 països amb més potència fotovoltaica instal·lada al 2015. Font: Snapshot of Global Photovoltaic Market (2015) – IEA PVPS.



**Figura 6.** Gràfica de la potència instal·lada des del 2007 al 2015 a Espanya. Font: Informe anual UNEF 2016.

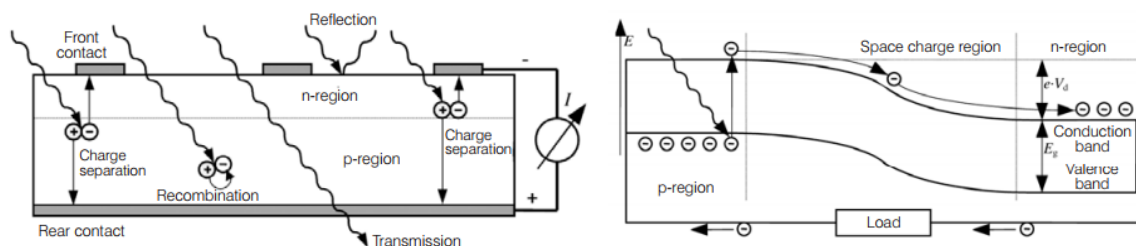
Aquestes gràfiques indiquen que Espanya té el recurs solar per instal·lar més potència fotovoltaica i intentar millorar la situació en la qual encara hi té molt pes la generació convencional com les centrals de cicle combinat (24,9 % segons la REE en 2016 ) o carbó (9,5 %).

### ***Panells fotovoltaics***

Els panells fotovoltaics són un conjunt de cel·les (fotoelèctriques) connectades entre sí que transformen l'energia lumínica (fotons) en energia elèctrica (electrons) mitjançant l'efecte fotoelèctric [16].

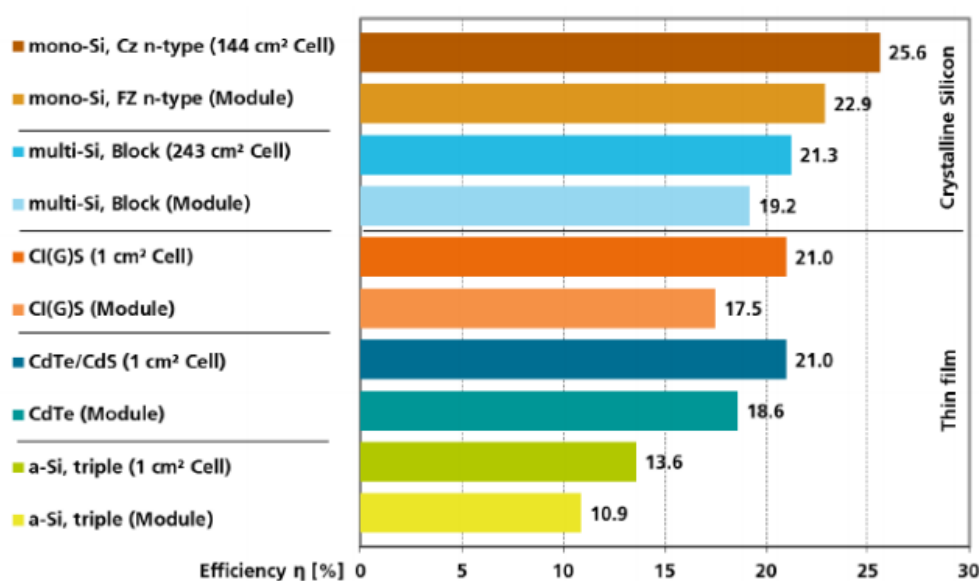
L'efecte fotoelèctric és l'efecte de producció d'una diferència de potencial quan incideix una radiació de fotons sobre un material semiconductor.

La cel·la més habitual es la formada per Silici amb una unió p-n. Quan incideixen els fotons sobre el semiconductor p, els electrons lliures del semiconductor de tipus n, reben l'energia necessària per travessar la zona de càrrega espacial i omplir els buits del semiconductor de tipus p (amb menys electrons lliures). El resultat és una diferència de potencial que connectat a una càrrega produeix una corrent.



**Figura 7.** Efecte fotovoltaic. Font: Understanding Renewable Energies [16].

Depenent del tipus de tecnologia utilitzat per la construcció de les cel·les fotovoltaïques tindran un rendiment major o menor.



**Figura 8.** Eficiència energètica de diferents tecnologies. Font: Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (2016).

### 3.3.2 Sistemes d'emmagatzematge: bateries.

Les bateries estan formades per cel·les electroquímiques capaces de convertir energia química en energia elèctrica.

Hi ha dos tipus de bateries:

- Bateries primàries. Són les que aporten el consum diari de l'habitatge. Són caracteritzades perquè poden descarregar fins el 80% de la seva càrrega repetidament. Les bateries més usades d'aquest tipus són les de plom àcid, però també les de ió liti i ió sodi.

- Bateries secundàries. La seva funció es descarregar-se però puntualment, essent un emmagatzematge de reserva. Poden proporcionar molta energia en moments crítics però amb una intensitat de descàrrega més baixa.

Hi ha diferents tipus de tecnologies. La taula següent resumeix les més conegudes.

Batteries	Lead acid	NiCd	NiZn	Li/ion	Li/polymer	Sodium nickel chloride (Na-NiCl <sub>2</sub> )	NAS
Energy/weight (Wh/kg)	40–50	60–75	50–60	150–200	150–200	125	150–240
Cell voltage (V)	2	1.25	1.5	3.7	3.7	2.58	≈ 2
Voltage at the end of discharge slow/fast (V)	1.8–1.65	1.09/0.7	1.6	2.75/1.45	/	1.58	1.74–2.076
Cycle number	600–1500	800–2500	500–1000	500–1000	100–10.000	1000–2500	2500
Operating temperature (°C)	0–45	0–50	50	Ambient	Ambient	270–350	300
Charging time (h)	5–20	10–15	1.5	1–2	1–5	2	8
Efficiency (%)	65–85	70–80	65–80	85–95	90–95	90	89–92

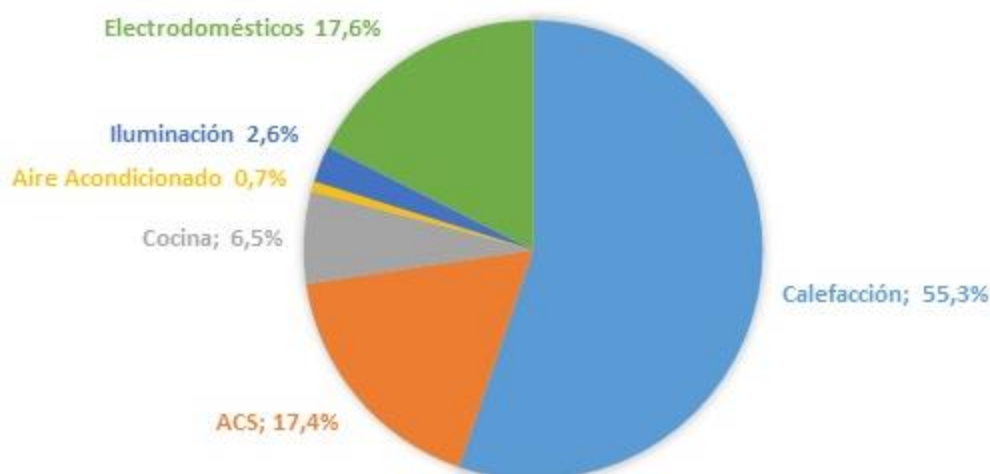
**Figura 9.** Taula comparativa dels diferents tipus de bateries. Font: [17].

Per tant els tipus de bateries més usades són [17]:

- Bateries de plom-àcid: És el tipus de bateria més utilitzada. Aquestes bateries tenen ràpids temps de resposta, el nombre de cicles es situa entre els 600-500 i l'eficiència és d'un 65-85%. El seu cost és baix.
- Bateries de níquel Cadmi: Són bateries que tenen un major nombre de cicles de vida que les primeres i també una eficiència més alta que es situa en el 70-80 %. El major inconvenient és que el cadmi i el níquel són els metalls pesants tòxics.
- Bateries de ions de liti: És una bateria que té el temps de resposta molt baix, la relació d'energia emmagatzemada per pes també és molt alt. La seva eficiència es situa en el 85-95% i de 500 a 1000 cicles de vida, però tot això es veu reflectit en el seu alt cost.

### 3.3.3 Càrregues energètiques

Es considera part d'aquest projecte l'estudi de les càrregues, per poder posteriorment diferenciar-les entre les càrregues crítiques i no crítiques. Dintre d'aquest apartat s'inclourà un apartat d'electrodomèstics i climatització (i ACS) que són les que representen un major pes en el consum total d'un habitatge.



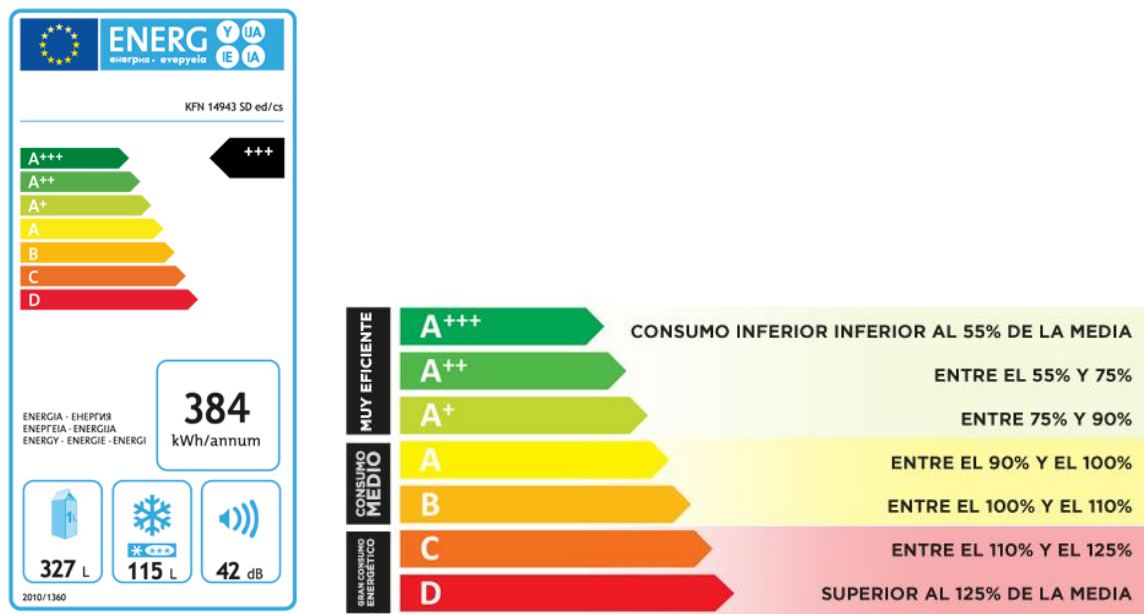
**Figura 10.** Distribució del consum energètic d'un habitatge. Font: IDAE.

### ***Electrodomèstics***

Els electrodomèstics representen un 17,6% de l'energia consumida d'un habitatge segons l'IDAE i aquesta xifra té la tendència de seguir augmentant ja que de cada cop més es tenen més electrodomèstics a les cases.

L'eficiència energètica d'un electrodomèstic és la capacitat d'un electrodomèstic per realitzar la seva funció amb una quantitat menor d'energia. L'etiqueta energètica és on l'usuari pot obtenir aquesta informació i esdevé obligatòria a Europa per els electrodomèstics que més consumeixen: neveres, rentaplats, rentadores, assecadores i forns.

La classificació d'eficiència energètica consta de 7 nivells (de més a menys eficient): A+++, A++, A+, A, B, C, D.



**Figura 11.** La primera imatge és un exemple d'etiqueta d'eficiència energètica i la segona, el significat de cada un dels nivells d'eficiència. Font: IDAE.

Per tant, es recomana que l'usuari disposi dels aparells amb el màxim nivell d'eficiència, sobretot aquells que estan connectats les 24 hores, perquè es podria reduir molt el consum total de l'habitatge.

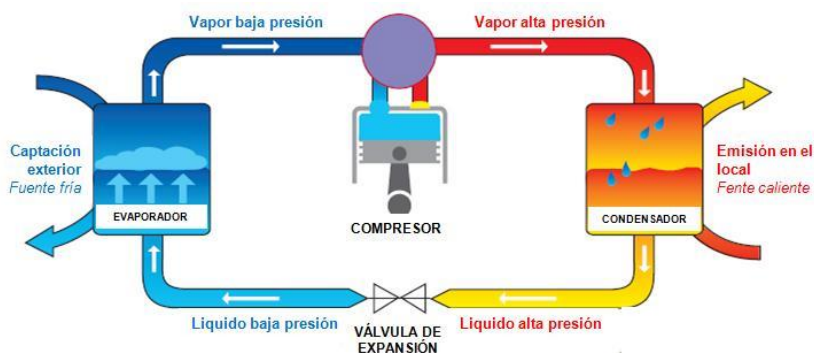
### Climatització

La climatització de l'habitatge representa el 55,3% del consum total i el 17,4% del consum és també de l'escalfament d'aigua sanitària (ACS).

El sistema de climatització més usat a l'habitatge es realitza mitjançant calderes de combustió (normalment de gas natural o butà), que escalfen l'aigua i aquesta es distribueix pels diferents radiadors de l'habitatge.

Una de les alternatives podrien ser les calderes de biomassa, encara que són també de combustió, redueixen l'impacte mediambiental perquè no utilitzen combustibles fòssils.

El sistema més recomanat en quant a eficiència energètica [X] són les bombes de calor. La bomba de calor és una màquina que transfereix calor d'un espai a l'altre, no el genera, amb l'objectiu de mantenir un espai calent, encara que també pot funcionar en èpoques estiuenques.



**Figura 12.** Diagrama del funcionament d'una bomba de calor. Font: <http://www.tecnologia-industrial.es/>

Un altre exemple de bomba de calor és la geotèrmica utilitzada molt en els països nòrdics. Aquests sistemes en compten d'extreure calor de l'exterior, ho fan del terra, ja que es manté a una temperatura constant.

Es proposa que per un ús eficient d'aquests mecanismes les temperatures seleccionades en el termòstat siguin responsables: de dia d'uns 19-21°C i de nit entre 15-17°C.

### Termo elèctric (ACS)

El termo elèctric és una resistència elèctrica instal·lada en un dipòsit que conté aigua calenta sanitària. En el dipòsit hi ha un termòstat que controla la temperatura de l'aigua. El termo s'encén quan la temperatura indicada pel termòstat és inferior a la temperatura desitjada. La capacitat que té de proporcionar aigua calenta és la capacitat que té el dipòsit.

Davant aquest alt consum es recomana usar un termo programable. Per això ja hi ha solucions industrials, però també es pot fer utilitzant un temporitzador digital. Amb aquest temporitzador es programaria les hores que es vol encendre si aproximadament tarda una hora en escalfar-se el dipòsit. Un exemple seria indicar aigua calenta a 60°C programables a les hores de les dutxes i 45°C programables a les hores de rentar la vaixella.



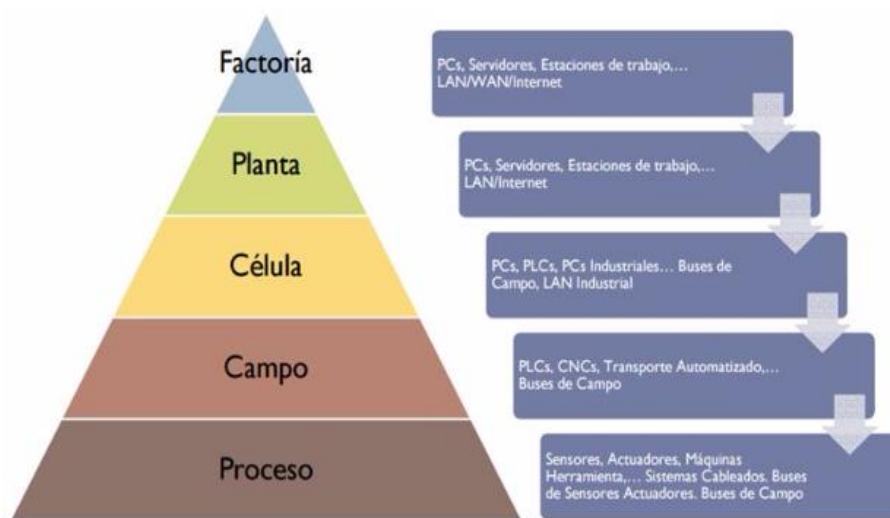
**Figura 13.** Exemple de temporitzador digital. Font: Vivanco.



### 3.4 Part física del HEMS

Un sistema de gestió energètica (en anglès EMS, *Energy Management System*) és un sistema que controla, monitoritza i optimitza l'eficiència energètica d'una micro-xarxa. També es fa referència a HEMS (*Home Energy Management System*) al sistema de gestió d'energia però a nivell d'habitatge, terme més adequat en aquest cas.

En els processos d'automoció és comú que s'apliqui la piràmide CIM (Computer Integrated Manufacturing) [11].



**Figura 14.** Diagrama d'una piràmide CIM (Font: Automatització Industrial URP).

En el cas de la micro-xarxa, en el primer nivell hi hauria els comptadors d'energia consumida, els sensors i els contactors necessaris pel control.

En el segon nivell hi hauria un PLC, és un controlador molt usat en la indústria per la seva fiabilitat. El PLC és el que transmet ordres superiors al primer nivell.

Normalment, el control del tercer nivell s'implementa en molts casos amb SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition), un software que permet controlar i visualitzar processos industrials.

No obstant, com que l'aplicació d'aquest projecte és per finalitats acadèmiques i els resultats es veuran reflectits a nivell de simulació, es proposa utilitzar el software Visual Studio. Aquest programa de Microsoft és també molt usat en indústria, podent-se comunicar amb PLCs fàcilment per Ethernet (TCP/IP, ModBus, OPC). Els nivells de control superiors no són contemplats en aquest treball.



## 4 Mètode de concepció

Seguint la normativa ISO 50001 com a model s'estableix un diagrama del mètode que contendrà el procés d'actuació d'aquest treball.

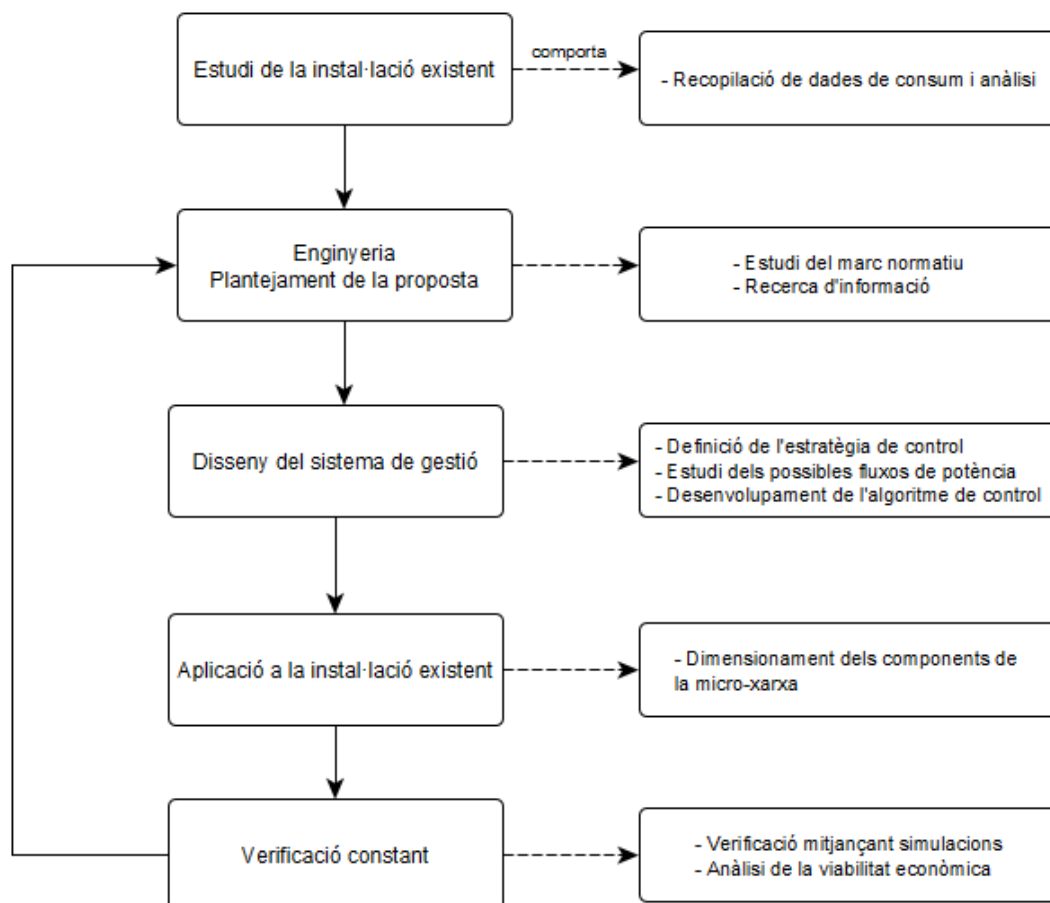


Figura 15. Diagrama proposat pel treball.

## 5 Marc lògic: Disseny del Sistema de gestió energètica

En aquest apartat s'estudiarà la part del disseny de la part lògica del sistema de gestió energètic.

Primer es resumiran les opcions plantejades com a estratègies de control per aplicar a l'habitatge. Una vegada aquests criteris han estat establerts, es farà un anàlisi dels fluxos de potència possibles. Finalment, en base a l'estratègia i les possibles configuracions de la micro-xarxa es presentaran uns diagrames de flux que constituïran l'algoritme del HEMS dissenyat.

La plataforma física en la qual es desenvolupa el HEMS s'ha explicat anteriorment en l'apartat 3.4.

### 5.1 Estratègies de control

Les possibles estratègies de control relacionades amb la part física (o la tipologia de la micro-xarxa) que es plantegen en aquest treball són les següents.

- **Opció 1:** Micro-xarxa aïllada. En aquesta opció es dimensionaria la instal·lació depenent del consum total de l'habitatge més una reserva addicional per sistemes d'emmagatzematge, fent possible la desconexió total de xarxa. S'hauria d'estudiar la necessitat d'afegir una altra font de producció d'energia, en cas de no ser suficient. Tal i com està actualment la normativa espanyola sembla ser una de les opcions més viables.
- **Opció 2:** Estratègia de *net metering*. En aquesta opció, a diferència de la segona, no hi hauria sistemes d'emmagatzematge. L'estratègia seria abocar a la xarxa en hores de sobreproducció l'energia que necessitaràs a la nit quan no n'hi ha per tal d'arribar a un balanç d'energia residual zero: només produeixes el que consumeixes. Un altra vegada, per la implementació d'aquesta estratègia necessites el suport d'una regulació que actualment no està desenvolupada.
- **Opció 3:** Implementació de l'estratègia *peak shaving*. Consisteix en fixar un màxim de potència [14]. Quan el consum de l'habitatge sobrepassi aquesta potència, l'energia extra seria proporcionada per un sistema d'emmagatzematge. L'objectiu és que la major part del consum i la càrrega de bateries sigui d'energia fotovoltaica. La xarxa serviria com a *back-up* en cas de que l'energia produïda i emmagatzemada no fos suficient. És semblant a l'opció 2, però en

comptes de la xarxa com a reserva una altra font de generació. Aconsegueix reduir costos en la potència contractada, que és més baixa.

- **Opció 4:** Implementació de l'estratègia *load shifting*. És una estratègia en la qual es pretén modificar els hàbits de consum energètic, per tal de que el perfil de consum sigui més pla, és a dir, evitar els pics de consum mitjançant una millor distribució de càrregues. Aquesta estratègia no inclou necessàriament la incorporació de generació ni emmagatzematge, ja que és més una qüestió de responsabilitat de l'usuari. Els casos d'aplicació podrien ser els que no es vol fer una gran inversió inicial, seguint consumint energia únicament de la xarxa, per exemple. També seria factible associar aquesta estratègia amb altres, per tal d'assolir la màxima eficiència energètica.

## 5.2 Objectius del HEMS

D'entre totes les opcions exposades, l'estratègia de control en la qual s'enfoca aquest treball és l'opció 3 i 4. És a dir, l'algoritme que regirà el comportament de la micro-xarxa tindrà com a finalitat, disminuir la potència contractada i aplanar la corba de consum de dues maneres: afegint un sistema d'emmagatzematge que subministri energia a les càrregues en els pics de demanda (el qual només es carregarà amb energia dels panells fotovoltaics) així com també desplaçant les càrregues no crítiques d'hores d'alt consum a hores de baix, quan la xarxa convencional no estigui disponible.

Igualment, l'estudi d'aquestes opcions podria ser molt semblant a l'opció 1, quan es planteja un habitatge aïllat totalment de la xarxa convencional, el qual podria ser una possible extensió del present treball.

L'opció 2 podria ser un escenari possible en un futur pròxim, però no en la legislació actual.

Per tant, els objectius del HEMS seran: La gestió del sistema fotovoltaic, del sistema d'emmagatzematge (càrrega i descàrrega de bateries segons els límits del fabricant), del injecció/consum de la macro-xarxa, de la gestió de càrregues no crítiques (desplaçant-les) i peak shaving per disminuir la potència contractada de l'habitatge.

### 5.3 Anàlisi dels fluxos de potència

L'anàlisi dels fluxos de potència possibles en una micro-xarxa servirà com a punt de partida. Els blocs que es podran interconnectar són:

- Panells fotovoltaics
- Sistemes d'emmagatzematge
- Xarxa convencional
- Càrregues : després es dividiran entre crítiques i no crítiques

Els possibles fluxos de potència de cada un són:

	-1	0	1
Panells fotovoltaics		No hi ha producció	Producció
Bateries	Carregant	Balanç nul	Descarregant
Xarxa	Abocament a xarxa	Desconnexió de xarxa	Subministrament de xarxa
Càrregues	Consumeixen	Desconnectades	

**Taula 10.** Possibles configuracions. Font: Generació pròpia.

L'anàlisi que es du a terme és de les combinacions quines són possibles i d'aquestes, quines són les que ens interessin amb l'estratègia elegida.

- X: Físicament impossible.
- Sí: És possible.
- No: No és possible segons l'estratègia elegida: Les bateries es carreguen amb els panells fotovoltaics.

Xarxa	PV	Bateria	Consum	Possible?
1	0	0	0	X
1	0	1	0	X
1	0	-1	0	No

1	1	0	0	X
1	1	1	0	X
1	1	-1	0	No
1	0	0	-1	Sí
1	0	1	-1	Sí
1	0	-1	-1	No
1	1	0	-1	Sí
1	1	1	-1	Sí
1	1	-1	-1	No
-1	0	0	0	X
-1	0	1	0	X
-1	0	-1	0	X
-1	1	0	0	Sí
-1	1	1	0	X
-1	1	-1	0	No
-1	0	0	-1	X
-1	0	1	-1	X
-1	0	-1	-1	X
-1	1	0	-1	Sí
-1	1	1	-1	No
-1	1	-1	-1	X
0	0	0	0	No
0	0	1	0	X
0	0	-1	0	X
0	1	0	0	X
0	1	1	0	X
0	1	-1	0	Sí
0	0	0	-1	X
0	0	1	-1	Sí
0	0	-1	-1	X
0	1	0	-1	Sí
0	1	1	-1	Sí
0	1	-1	-1	Sí

Taula 11. Diagrama de fluxos de potència possibles. Font: Generació pròpia.

## 5.4 Diagrames de fluxos proposats

Una vegada s'ha realitzat una taula amb les configuracions possibles que admet la micro-xarxa, es realitzen els diagrames de fluxos per controlar els quatre elements que la formen: les càrregues, la xarxa, la generació fotovoltaica i les bateries.

La nomenclatura que es farà servir és la següent.

Abreviatura	Significat	Valors
<b>X</b>	Disponibilitat de la macro-xarxa	0:No disponible, 1:Disponible
<b>PV</b>	Disponibilitat dels panells fotovoltaics	0:No disponible, 1:Disponible
<b>Px</b>	Potència de la xarxa convencional	Positiu
<b>Pxmax</b>	Potència contractada de la xarxa convencional	Positiu, configuració
<b>Pc</b>	Potència que consumeixen les càrregues, és la suma de les càrregues crítiques i no crítiques	Negatiu
<b>Pcnc</b>	Potència que consumeixen les càrregues no crítiques	Negatiu
<b>Pcc</b>	Potència que consumeixen les càrregues crítiques	Negatiu
<b>Ppv</b>	Potència dels panells fotovoltaics	Positiu
<b>Ppvmax</b>	Potència màxima dels panells fotovoltaics amb l'algoritme MPPT.	Positiu
<b>SOC</b>	Nivell de càrrega de les bateries	De 0 a 100%
<b>SOCmax</b>	Nivell de càrrega màxima	%
<b>SOCmin</b>	Nivell de descàrrega mínima	%
<b>SOCls</b>	Nivell de càrrega per realitzar load shifting	%, configuració
<b>Pbcm</b>	Potència de càrrega de les bateries	Negatiu
<b>Pbdm</b>	Potència màxima de descàrrega de les bateries	Positiu

Taula 12. Nomenclatura usada. Font: Generació pròpia.

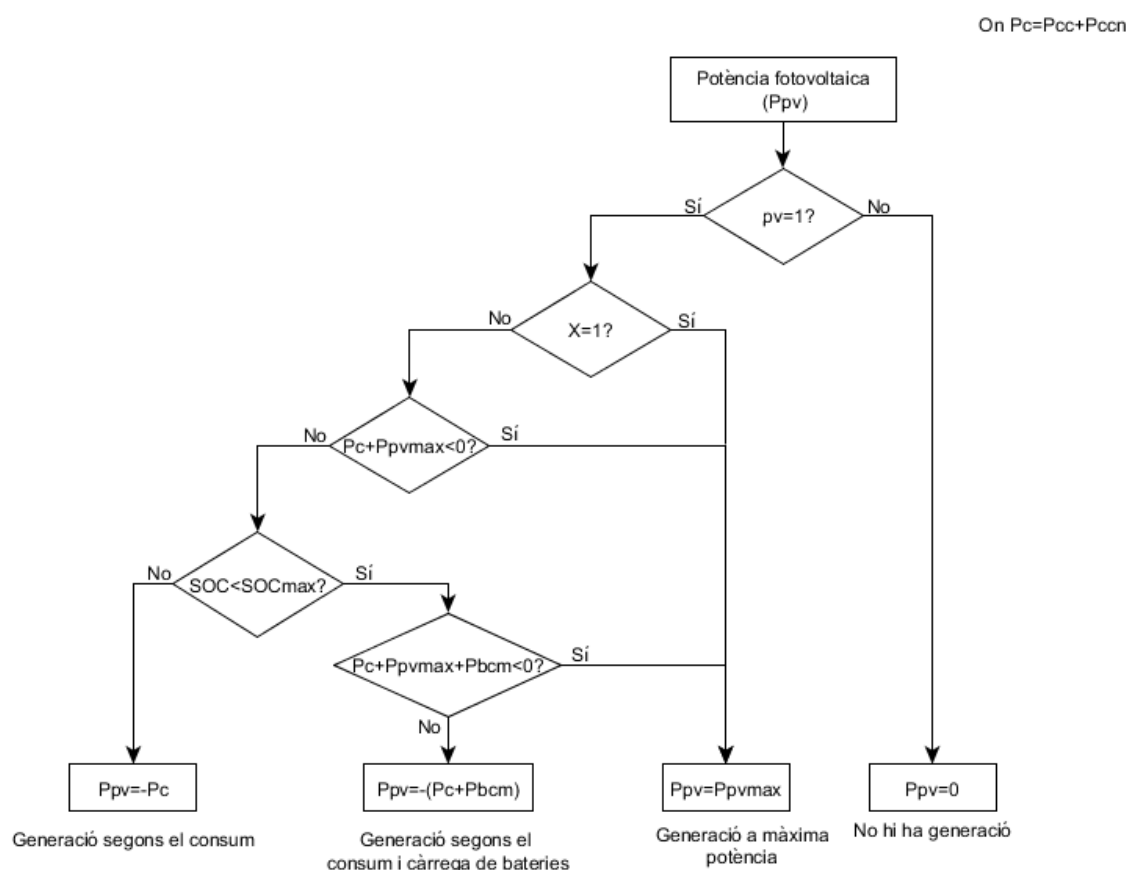
### 5.4.1 Generació fotovoltaica

L'objectiu de la instal·lació fotovoltaica serà produir el màxim d'energia possible ( $P_{pv}=P_{pvmax}$ ), sempre i quan la connexió a xarxa estigui disponible ( $X=1$ ) per tal de poder-hi abocar els excedents.

En el cas de que l'habitatge estigui desconnectat de la xarxa ( $X=0$ ) i en el cas de què la producció sigui major que el consum, aquesta s'haurà de limitar segons el consum de les càrregues ( $P_{pv}=-P_c$ ) i la càrrega de les bateries ( $P_{pv}=-P_c-P_{bcm}$ ), si és que és possible. Si, pel contrari, la producció és inferior al consum, la producció fotovoltaica serà la màxima.

Cal dir que el consum  $P_c$  és la suma del consum de les càrregues crítiques i no crítiques.

Per últim, es podria produir l'escenari en què la instal·lació fotovoltaica no està disponible ( $p_v=0$ ), en aquest cas la producció seria nul·la ( $P_{pv}=0$ ).



**Figura 16.** Diagrama de flux pel control de la generació fotovoltaica. Font: generació pròpia.

El codi d'implementació al programa de Visual Studio (amb el llenguatge Visual basic) és el següent.

```
Public Function ObtenirPpv(Pc, SOC, Ppvmax) As Double
    'Funció que obté segons l'algoritme proposat, l'energia fotovoltaica
    Dim Ppv As Double

    If PV = 0 Then 'Si no està disponible la instal·lació
        Ppv = 0 'No hi ha producció
    Else
        If X = 1 Then 'Si la xarxa està disponible
            Ppv = Ppvmax 'Generació a màxima potència
        Else 'Si la xarxa no està disponible
            If Pc + Ppvmax < 0 Then 'i consumeix més que que produeix
                Ppv = Ppvmax 'Generació a màxima potència
                'Si produeix més del que es consumeix
            ElseIf (SOC < SOCmax) And (Pc + Ppvmax + Pbcm) > 0 Then 'Si es poden carregar les bateries
                Ppv = -(Pbcm + Pc) 'Es limita: Produeix segons càrrega i consum
            ElseIf SOC < SOCmax And Pc + Ppvmax + Pbcm > 0 Then 'Si es poden carregar les bateries a màxima potència
                Ppv = Ppvmax
            ElseIf SOC > SOCmax Then 'Si les bateries estan carregades
                Ppv = -Pc 'Es limita: Produeix segons el consum de càrregues
            End If
        End If
    End If

    Return Ppv
End Function
```

**Figura 17.** Codi d'implementació del diagrama de flux de la Ppv. Font: generació pròpia.

## 5.4.2 Xarxa convencional

L'objectiu de la connexió a la xarxa convencional és que proporcioni l'energia necessària quan la generació fotovoltaica no sigui suficient. Amb l'estratègia de control peak shaving es fixarà el límit de potència contractada que es consumirà de la xarxa ( $P_{xmax}$ ) per tal de disminuir-la al màxim.

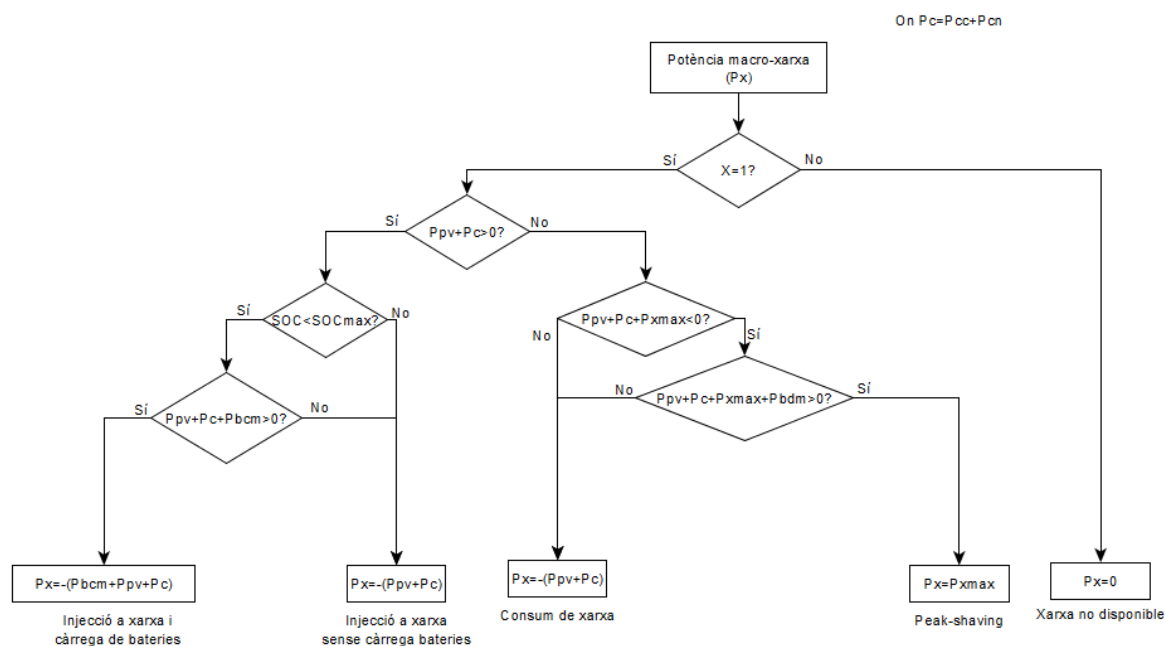
Com ja s'ha dit anteriorment, la càrrega de les bateries es farà únicament amb energia renovable i no de la xarxa convencional.

Per tant, es poden trobar cinc estats diferents:

- Quan la xarxa no està disponible ( $X=0$ ), no s'aporta ni es consumeix energia de la xarxa ( $P_x=0$ ).
- Quan la generació de fotovoltaica és superior a la demandada i es poden carregar les bateries, s'injectarà a la xarxa la diferència, és a dir la producció menys la càrrega de bateries i el consum ( $P_x = -P_{bcm} - P_{pv} - P_c$ ).
- Si les condicions són iguals que b) però no es poden carregar les bateries, la injecció a xarxa és la diferència entre la generació i el consum ( $P_x = -P_{pv} - P_c$ ).



- d) Si la fotovoltaica no és suficient per aportar el consum, però si la suma entre la fotovoltaica i la potència contractada a la xarxa, llavors es subministrarà de la xarxa la diferència entre el consum de les càrregues i la fotovoltaica.
- e) Si la potència contractada i la potència fotovoltaica no són suficients per subministrar la potència de les càrregues, s'activarà l'estratègia peak-shaving en la qual les bateries aportaran la diferència.



**Figura 18.** Diagrama de flux pel control de la macro-xarxa. Font: generació pròpia.

El codi de l'algoritme desenvolupat és:

```

Public Function ObtenirPx(Ppv, Pc, SOC) As Double
    'Funció que obté segons l'algoritme proposat, la potència de la xarxa:
    'Essent negativa si injecta a la xarxa, i positiva si consumeix de la xarxa
    Dim Px As Double

    If X = 0 Then 'Si la xarxa no està disponible
        Px = 0 'Desconnexió
    Else
        If Ppv + Pc > 0 Then 'Si la producció fotovoltaica és major que el consum
            If SOC < SOCmax And Ppv + Pc + Pbcm > 0 Then ' Si es poden carregar les bateries
                Px = -(Pbcm + Ppv + Pc) 'S'injecta a xarxa la diferència
            Else 'Si no es poden carregar les bateries
                Px = -(Ppv + Pc) 'S'injecta a xarxa la diferència
            End If
        Else 'Si la fotovoltaica no és suficient: Consumeix de la xarxa
            If Ppv + Pc + Pxmax < 0 And Ppv + Pc + Pbdc + Pxmax > 0 Then 'Si la pot.contractada no és suficient per abastir càrregues
                Px = Pxmax 'Peak-shaving
            Else
                Px = -(Ppv + Pc) 'Si és suficient, es consumirà de xarxa la diferència entre generació pv i consum
            End If
        End If
    End If

    Return Px
End Function
    
```

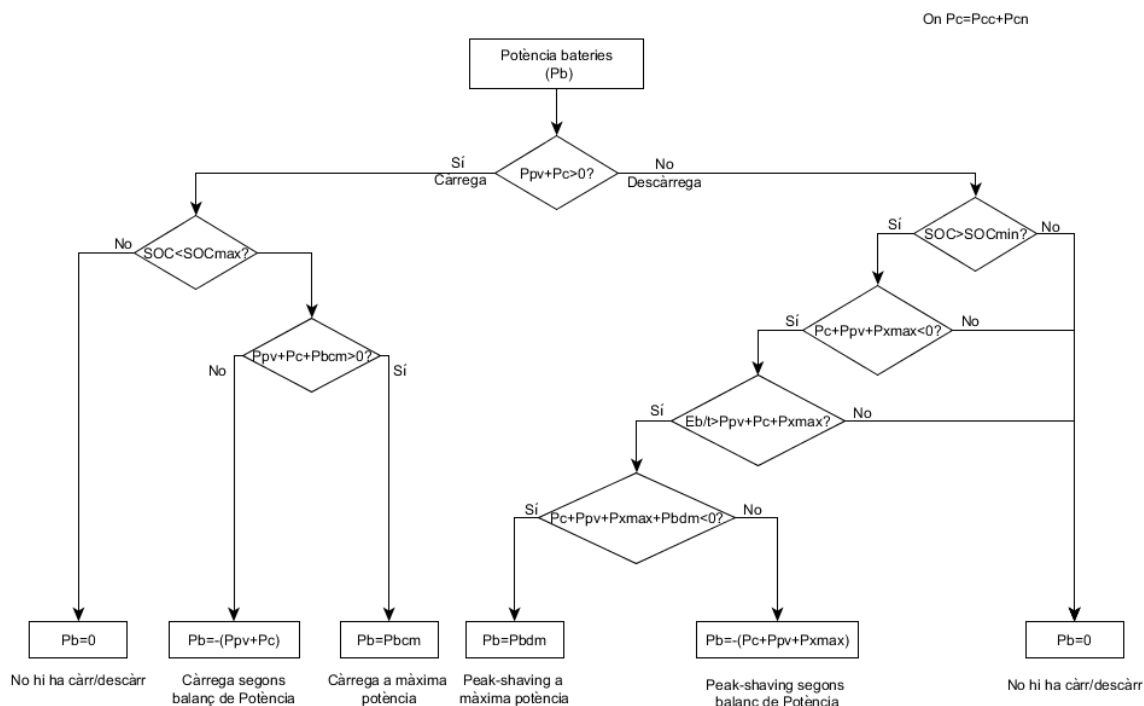
**Figura 19.** Codi d'implementació del diagrama de flux de la Px. Font: generació pròpia.

### 5.4.3 Bateries

Les bateries tindran dos estats principals: el de càrrega quan hi hagi excedent d'energia fotovoltaica després d'haver abastit les càrregues i el de descàrrega, quan l'energia fotovoltaica no sigui suficient per abastir-les.

Es podran produir diverses configuracions:

- Que hi hagi excedent per carregar les bateries, però que ja estiguin plenes ( $P_b=0$ ), llavors no es produiria ni càrrega ni descàrrega.
- Que hi hagi excedent per carregar les bateries a màxima potència ( $P_b=P_{bcm}$ ) o que sigui inferior i es carreguin segons el balanç de potència ( $P_b=-P_{pv}-P_c$ ).
- La descàrrega de les bateries es produirà quan les bateries estiguin carregades mínimament i estigui activa l'estratègia de peak shaving per suplir els pics de demanda. El peak shaving es podrà produir a màxima potència  $P_b=P_{bdm}$  o segons el balanç de potències,  $P_b=-(P_c+P_{pv}+P_{max})$ , havent-se assegurat que el nivell de bateries assegura el subministrament dels pics.



**Figura 20.** Diagrama de flux pel control de les bateries. Font: generació pròpia.

El codi de l'algoritme desenvolupat és:

```
Public Function ObtenirPb(Ppv, SOC, Pc, Eb) As Double
    'Funció que obté segons l'algoritme proposat, la potència de les bateries:
    'Essent negativa si es carreguen, i positiva si es descarreguen
    Dim Pb As Double

    If Ppv + Pc > 0 Then 'Càrrega de les bateries
        If SOC < SOCmax And Pc + Ppv + Pbcm > 0 Then 'Si es poden carregar a màxima potència
            Pb = Pbcm 'Es carreguen a màxima potència
        ElseIf SOC < SOCmax And Pc + Ppv + Pbcm < 0 Then 'Si no,
            Pb = -(Ppv + Pc) 'Es carreguen segons producció i consum
        Else 'Les bateries ja estan carregades
            Pb = 0
        End If
    Else 'Descarreguen les bateries
        If SOC > SOCmin And Pc + Pxmax + Ppv < 0 And SOC * Capac > Ppv + Pc + Pxmax Then
            If Pc + Ppv + Pxmax + Pbdm < 0 Then
                Pb = Pbdm 'les bateries descarreguen al màxim aportant peak-shaving
            Else
                Pb = -(Pc + Pxmax + Ppv) 'les bateries descarreguen aportant el peak shaving
            End If
        Else
            Pb = 0 'No es descarreguen
        End If
    End If

    Return Pb
End Function
```

**Figura 21.** Codi d'implementació del diagrama de flux de la Pb. Font: generació pròpia.

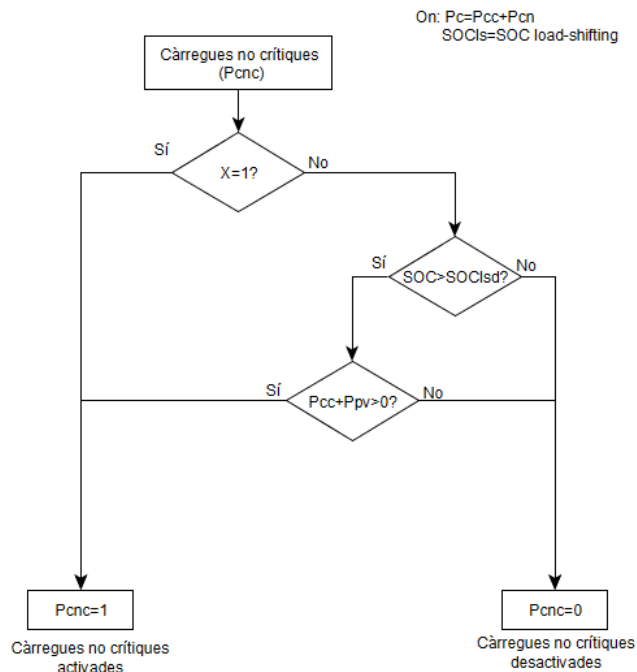
#### 5.4.4 Càrregues

De tipus de càrregues n'hi ha de dos tipus:

- 1) Les càrregues crítiques: són aquelles càrregues que no poden ser desplaçades, el subministrament d'aquestes càrregues no pot ser interromput.
- 2) Les càrregues no crítiques: són aquelles càrregues que poden ser desplaçades. Exemples d'aquestes càrregues són: la rentadora, el rentaplats i l'assecadora.

Aquesta distinció és important fer-la per l'estratègia de load shifting que s'aplicarà, és a dir, les càrregues no crítiques seran desplaçades segons els nivells de càrregues de les bateries. Aquesta estratègia serà un mecanisme de recolzament a l'estratègia de peak-shaving quan la xarxa no estigui disponible.

Per tant, tal com s'ha definit, es podrà fer el desplaçament de les càrregues es produirà quan el nivell de càrrega de les bateries sigui baix, un límit que serà ajustable.



**Figura 22.** Diagrama de flux pel control de les càrregues. Font: generació pròpia.

Per implementar aquest codi, s'ha fet utilitzant dues funcions. La primera calcula si les càrregues han d'estar connectades o desconnectades, mentre que la segona fa el desplaçament de les càrregues en depenent de la primera funció.

```

Public Function ObtenirCN(SOC, Ppv, Pcc) As Boolean
    'Retorna Connexió (1) o desconexió (0) de les càrregues no crítiques
    If X = 1 Then 'Si la xarxa està disponible
        Return 1 'Les càrregues es connecten
    Else 'Si la xarxa no està disponible
        If SOC > SOClsd Then 'Si el SOC és el suficient segons el fixat
            If Pcc + Ppv > 0 Then 'Si la generació fotovoltaica és major que la consumida
                Return 1 'Les càrregues es connecten
            Else
                Return 0 'Les càrregues es desconnecten
            End If
        Else
            Return 0 'Les càrregues es desconnecten
        End If
    End If
End Function
  
```

**Figura 23.** Codi d'implementació del diagrama de flux de la Pc: sobre la connexió/desconnexió de les càrregues no crítiques. Font: generació pròpia.

```
For t = 0 To minuts - 1 'Simulem per cada minut
    Array.Copy(Pcc, Pc, Pcc.Length)
    If (t = Array.FindIndex(Pcnc1, Function(x) (x < 0))) Or loadshifting = True Then
        cn = ObtenirCN(SOC(t), Ppv(t), Pcc(t))

        If cn = 1 Then
            'Suma de vectors
            Dim count As Integer = t
            For i = Array.FindIndex(Pcnc1, Function(x) (x > 0)) To Array.FindLastIndex(Pcnc1, Function(x) (x > 0))
                Pc(count) = Pcnc1(i)
                count += 1
            Next
            loadshifting = 0
        ElseIf cn = 0 Then
            loadshifting = 1
        End If
    End If
```

**Figura 24.** Codi d'implementació del diagrama de flux de la Pc: sobre el desplaçament de càrregues i càlcul de la Pc. Font: generació pròpia.

## 6 Cas concret d'aplicació.

En aquest apartat s'aplicarà l'estudi que proposa el treball en un habitatge unifamiliar de les Illes Balears, segons el mètode de concepció. En la primera part d'estudi de la instal·lació existent, es concretarà l'emplaçament i es farà un estudi de les càrregues connectades i dels perfils de càrregues identificables. En la segona part, es farà el dimensionament de la potència fotovoltaica, de la capacitat de les bateries i de l'inversor. També es dedicarà un apartat a la modificació de la potència de la xarxa convencional.

### 6.1 Estudi de la instal·lació existent.

Seguint la metodologia exposada en l'apartat del mètode de concepció, el primer pas és l'estudi de la instal·lació existent. Per aquest motiu, primer s'ha detallat l'emplaçament de l'habitatge en el qual s'aplicarà aquest projecte i seguidament s'ha elaborat un estudi de tots els aparells que suposen un consum per a la instal·lació.

A més a més, s'ha disposat d'un equip *Mirubee* que mesura el consum global de la instal·lació. Ofereix un anàlisi detallat del perfil de les càrregues connectades a l'habitatge. L'anàlisi de perfil de càrregues que permet aquest equip és de diferents bases de temps, podent-se obtenir perfils de consum diaris, mensuals i anuals. Mitjançant tècniques estadístiques d'anàlisi dels patrons de consum i preguntes d'auditoria a l'usuari, la programació d'aquest equip és capaç de relacionar alguns perfils amb l'aparell connectat a l'habitatge.

#### 6.1.1 Emplaçament

S'ha escollit un habitatge unifamiliar pel cas concret d'aplicació d'aquest projecte, situat al municipi de Porreres, a l'illa de Mallorca. L'habitatge es troba ubicat a les afores del poble.

A continuació es mostren les dades geogràfiques de l'habitatge.

<b>Comunitat Autònoma, Illa</b>	Illes Balears – Mallorca
<b>Localitat, CP</b>	Porreres – 07260
<b>Direcció</b>	Zona Ses Planes- Pol 3 - Parcel·la 291
<b>Coordenades</b>	Latitud: 39 ° 32' 7.89 " Longitud: 3° 1' 31.68"  39.535539, 3.025478

**Taula 13.** Dades geogràfiques de la zona estudiada.

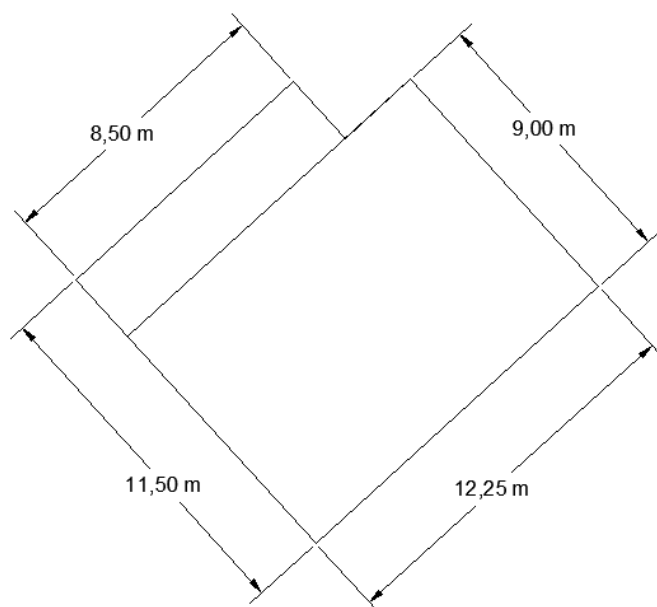
La imatge aèria extreta del visor Sigpac de l'emplaçament amb les dades. El visor Sigpac (*Sistema d'Informació Geogràfica de parcel·les agrícoles*), és una eina que ofereix el Ministeri d'Agricultura del Govern Espanyol molt utilitzat en el sector agrari.



**Figura 25.** Imatge aèria de la zona estudiada amb les dades geogràfiques. Font: Visor Sigpac.

### ***Superfície habitable***

La zona habitable representa 131,5 m<sup>2</sup>.



**Figura 26.** Esquema de la superfície total habitable. Font: generació pròpia.

D'aquesta superfície, l'habitatge té la següent distribució:

Estància	Superfície (m <sup>2</sup> )
Habitació 1	10,625
Habitació 2	10,625
Habitació 3	16,75
Cuina	20,5
Bany	14,5
Sala d'estar - Menjador	42
Entrada	10
Bugaderia	6,5

**Taula 14.** Dades geogràfiques de la zona estudiada. Font: generació pròpia.



### 6.1.2 Estudi de les càrregues connectades

Aquest apartat es realitza un recompte de tots els aparells elèctrics que es poden connectar a l'habitatge.

És important perquè, alhora d'implementar l'estratègia d'eficiència energètica peak shaving – load shifting, aquestes càrregues es classificaran amb crítiques o no crítiques. Depenent del tipus de càrregues que siguin, l'algoritme que regula els fluxos de potència es comportarà de manera diferent.

En aquest estudi, es podrà afegir el temps de consum de cada aparell elèctric, mitjançant les dades proporcionades per l'equip de mesura Mirubee.

Estància	Càrrega	Consum
Cuina	Conservadora	200 W
	Nevera	383 kWh /anual – 43,72 W (classe A)
	Rentaplats	1500 W
	Microones	1000 W
	Forn	1800 W
	Torradora	850 W
	Il·luminació	2x 18 W
Sala d'estar	Il·luminació	1 x 9W 3x 50 W 1x 40 W 1x25 W
	Calefactor	100 W
	Braser elèctric	900 W
	Televisió	70 W
	Carregador Ordinador	65 W

Habitació 1	Il·luminació	1x 75W
Habitació 2	Il·luminació	1x42 W 1X 11W
Habitació 3	Il·luminació	9 W
Bugaderia	Il·luminació	1x 70 W
	Rentadora	2000 W
	Assecadora	2800 W
	Planxa	2200 W
	Aspiradora	1600 W
Bany	Il·luminació	2x 32 W 1x 50 W 1x 42 W
	Termo elèctric	1500 W
Entrada	Il·luminació	1x25 W
Exterior	Il·luminació	3x18 W 2x9 W 2x42 W 6x40W

**Figura 27.** Auditoria de càrregues de l'habitatge. Font: generació pròpia.

A continuació es classificaran aquestes càrregues per si poden ser crítiques i no crítiques.

Com ja s'ha explicat anteriorment, les càrregues crítiques són les càrregues que han de tenir subministrament sempre i, per tant, no poden ser utilitzades en un altre període de temps que no sigui quan l'usuari les requereix. En canvi, les càrregues no crítiques, no tenen prioritat i poden ser mogudes en un altre període de temps que sigui més convenient en termes d'eficiència energètica.

Els criteris emprats per aquesta classificació són els següent:

- Les càrregues que sempre estan connectades a la xarxa seran classificades com a crítiques.

- b) Les càrregues que són d'ús esporàdic i de les quals no es pot preveure el seu ús seran classificades com a crítiques.
- c) Les càrregues que el seu ús no té perquè ser imminent, seran classificades com a no crítiques.

Càrregues	Classificació
Nevera	Crític
Rentaplats	No crític
Microones	Crític
Forn	Crític
Torradora	Crític
Termo elèctric	Crític
Calefactor	Crític
Braser elèctric	Crític
Televisió	Crític
Ordinador	Crític
Rentadora	No crític
Assecadora	No crític
Planxa	Crític
Aspiradora	Crític
Il·luminació	Crític

**Taula 15.** Classificació de les càrregues.

### 6.1.3 Estudi dels perfils de càrregues.

L'estudi del perfil de càrregues, com ja s'ha dit anteriorment, s'ha realitzat amb l'equip Mirubee.

Aquest equip mesura el corrent amb pinces amperimètriques i la tensió per obtenir la potència instantània entre dos nodes de la instal·lació elèctrica.

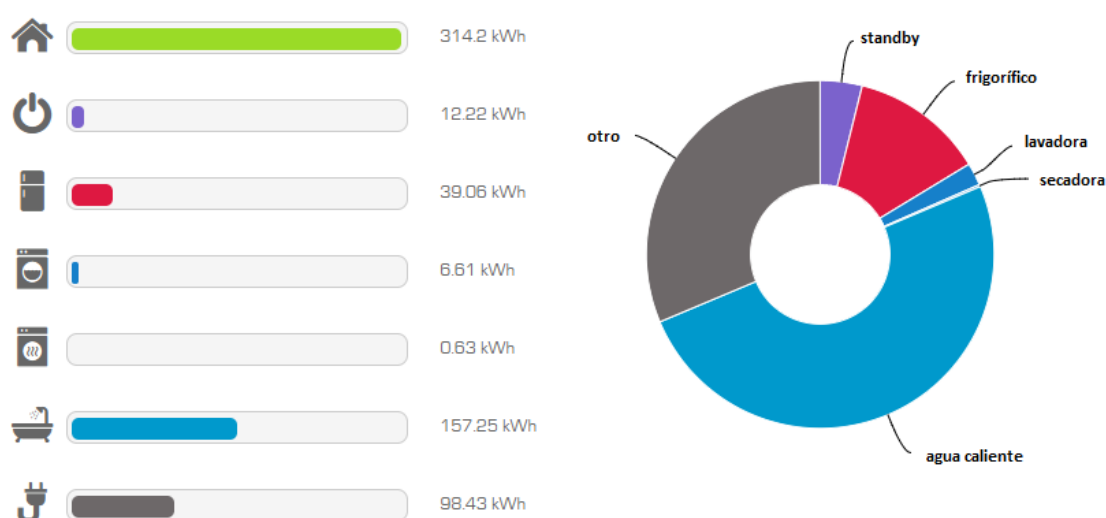
S'ha decidit instal·lar aquest aparell de manera que enregistri el consum general i el consum de l'habitatge que comprenen tots els electrodomèstics. La diferència entre aquests dos perfils és el consum del termo elèctric, que representa gran part del consum elèctric.

S'ha utilitzat per registrar mesures de dos mesos de l'hivern març i abril.

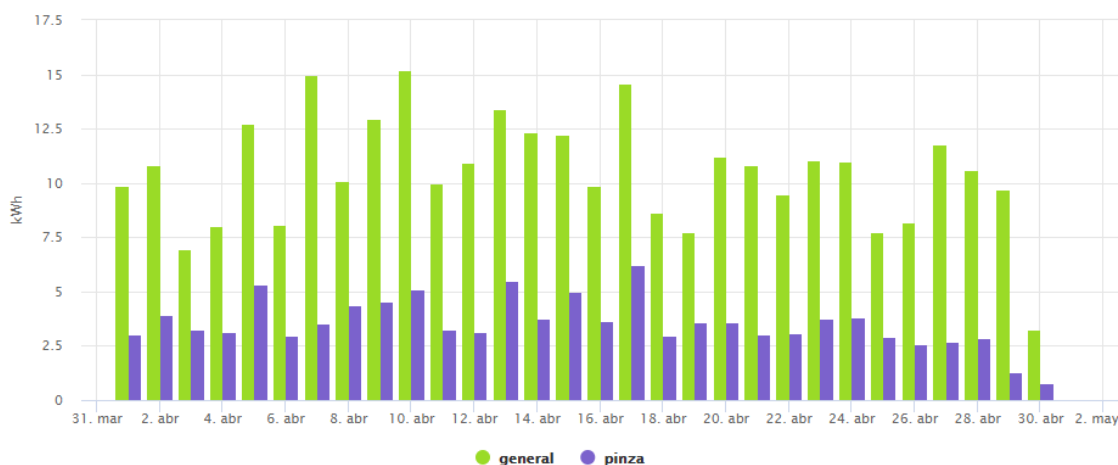
Aquest estudi ens permetrà identificar de manera aproximada el temps d'ús dels aparells més utilitzats, obtenint les corbes de consum.

Es farà un principal incís a les càrregues que s'han classificat a l'apartat anterior com a càrregues no crítiques, ja que el seu consum podrà ser desplaçat en els períodes on la demanda d'energia sigui massa elevada. Aquestes càrregues són: el rentaplats, la rentadora, l'assecadora.

Aquest és un exemple de la distribució elèctrica del mes de març, on l'equip Mirubee ha detectat les següents càrregues i els seus corresponents consums.



**Figura 28.** Distribució de consums durant el mes d'abril. Font: Generació pròpia.



**Figura 29.** Corbes de consum del mes d'abril: en verd, el consum general, i en lila el consum de la majoria dels electrodomèstics. Font: Generació pròpia.

D'aquestes gràfiques generals del consum de tot un mes es poden extreure algunes conclusions immediates que s'exposen a continuació.

- Que els algorismes que utilitza Mirubee per reconèixer les càrregues són aproximats i que hi ha una gran part del consum que no el reconeix. Per tant, la primera gràfica s'ha de interpretar com una aproximació que pot tenir error.
- Que, sabent que la diferència entre les corbes és principalment el terme elèctric, aquest pot arribar a representar quasi un 70 % del total del consum elèctric de l'habitatge. A més, gran part del consum no reconegut per Mirubee (*otro*) s'atribueix al consum d'aquest aparell. Això significa que s'haurà de fer un estudi per tal de solucionar la gran despesa energètica que suposa.
- Que el fet d'haver enregistrat el consum de manera que es vegi reflectit en una sola corba, fa que aquestes siguin més planes, ja que són la suma del consum de l'aparell i altres que puguin estar funcionant en aquell mateix moment. Per tant, els perfils concrets donen una idea de el temps d'ús i l'energia consumida, però contemplen un marge d'error.

### 6.1.3.1 Estudi de perfil de càrregues concretes.

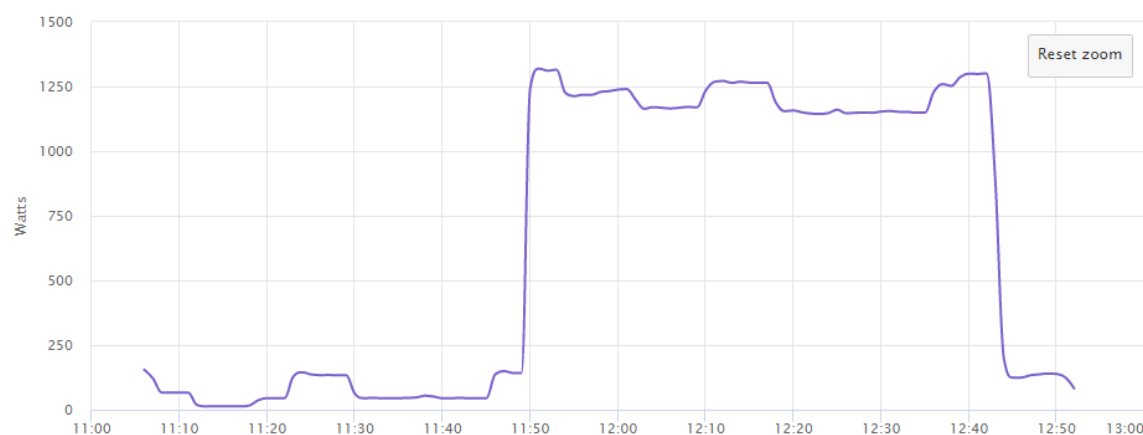
En aquest apartat s'analitzaran particularment les càrregues que s'han pogut identificar amb les corbes del Mirubee.

#### **Forn**

El forn estudiat té una càrrega que oscil·la entre els 1200 i 1300 W. El forn de l'habitatge té una potència nominal de 1800 W, en el qual el temps d'ús sol ser de 50 minuts a 1 hora.

El forn es considera com una càrrega crítica, pel fet que no pots preveure quan es requerirà l'ús d'aquest aparell, o en tot cas, es podria considerar com a càrrega no desplaçable. Encara que en algunes ocasions i depenent de les prioritats dels usuaris es podria arribar a considerar com una càrrega no crítica, ja que existeixen alternatives a la cuina per evitar l'ús del forn.

A la figura es mostra la corba de consum del forn de l'habitatge.



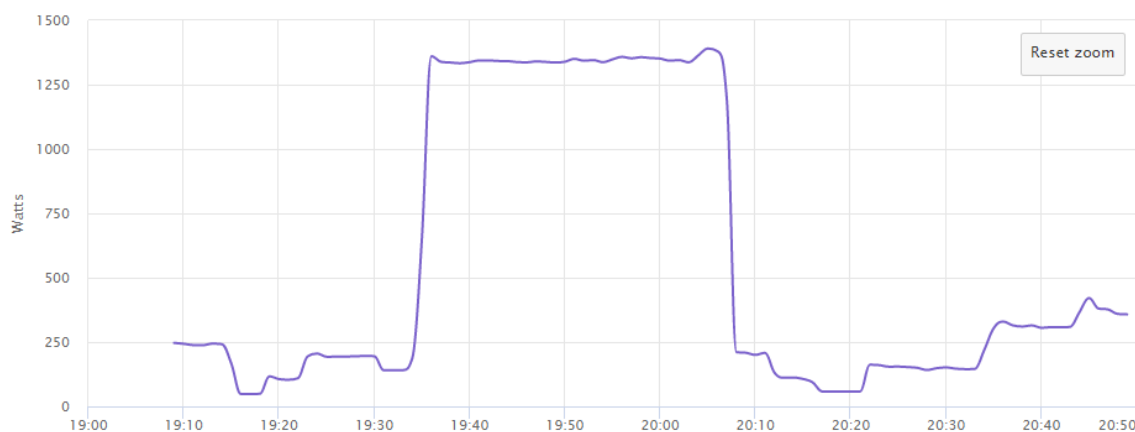
**Figura 30.** Perfil de consum del forn. Font: Generació pròpia.

#### **Rentadora**

A l'habitatge, la rentadora utilitzada és de potència nominal de 2000 W. És una rentadora de classe A, amb una antiguitat de sis anys, fet que incrementa la despesa energètica. Cal dir que actualment el mercat ofereix solucions més sostenibles que consumeixen molta menys energia.

Dit això, la rentadora és un clar exemple d'una càrrega no crítica i fàcilment desplaçable, ja que normalment no requereixes immediatament el rentat.

La rentadora de l'habitatge habitualment s'utilitza amb un programa curt de 30 minuts a una potència de 1300 W, inferior a la nominal.



**Figura 31.** Perfil de consum de la rentadora. Font: Generació pròpia.

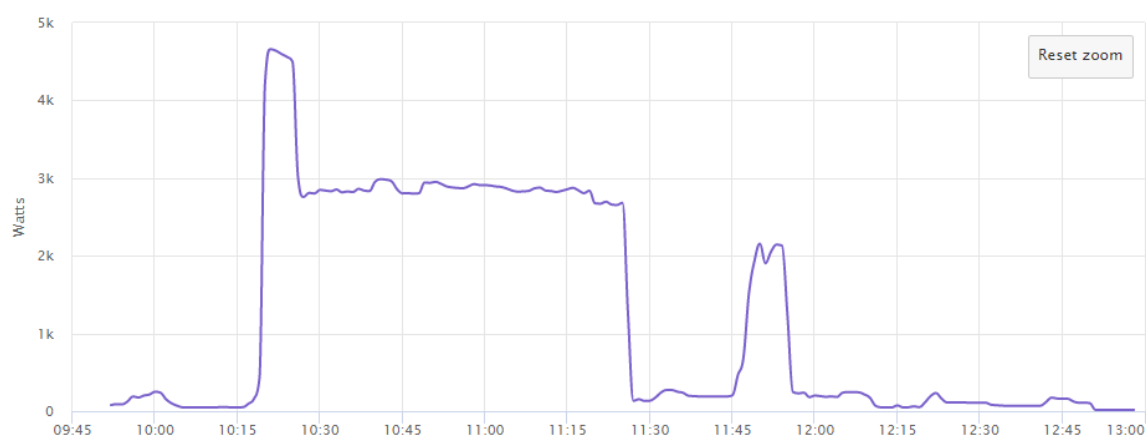
### Assecadora

L'assecadora en aquest habitatge és l'electrodomèstic que més consumeix, amb una potència nominal de 2800 W amb un programa que dura 1 hora.

Aquest electrodomèstic és un altre exemple de càrrega no crítica i fàcilment desplaçable, ja que en molts de casos, l'ús de l'assecadora és posterior al de la rentadora.

Cal dir que en el cas concret d'aquest habitatge l'ús de l'assecadora és molt poc freqüent (un o dos cops al mes). Només l'utilitzen en cas d'emergència. La roba es sol estendre i assecar amb la radiació solar.

En el gràfic es mostra que durant els primers deu minuts se li suma una càrrega de 1500 W, possiblement un calefactor o la planxa.



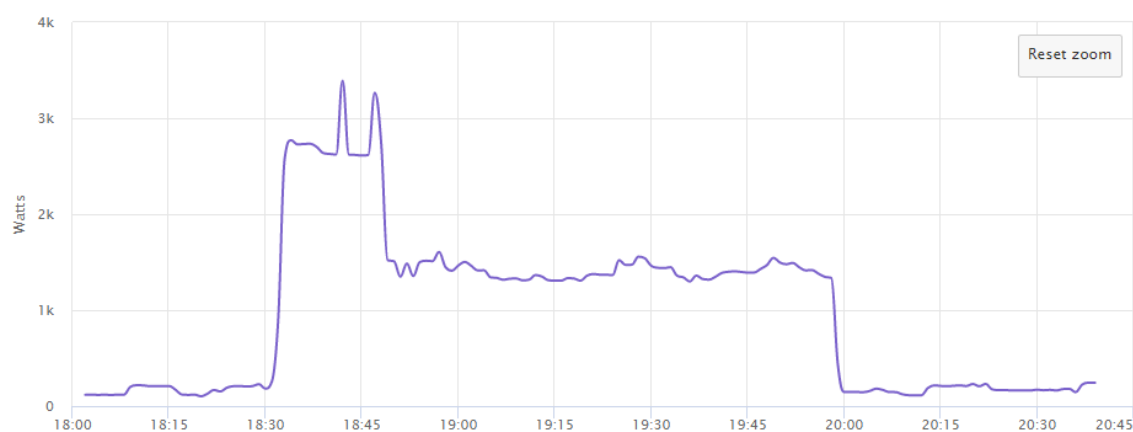
**Figura 32.** Perfil de consum de l'assecadora. Font: Generació pròpia.

## Rentaplats

El rentaplats és una càrrega no crítica i també desplaçable, juntament amb la rentadora i l'assecadora.

L'utilitzat a l'habitatge en qüestió és un de 1500 W de potència nominal. El programa freqüent amb què funciona l'aparell és un d'una hora i quart de durada.

A la gràfica es pot observar que en els primers minuts que la potència és molt superior a la nominal, arribant a pics de 3,3 kW.



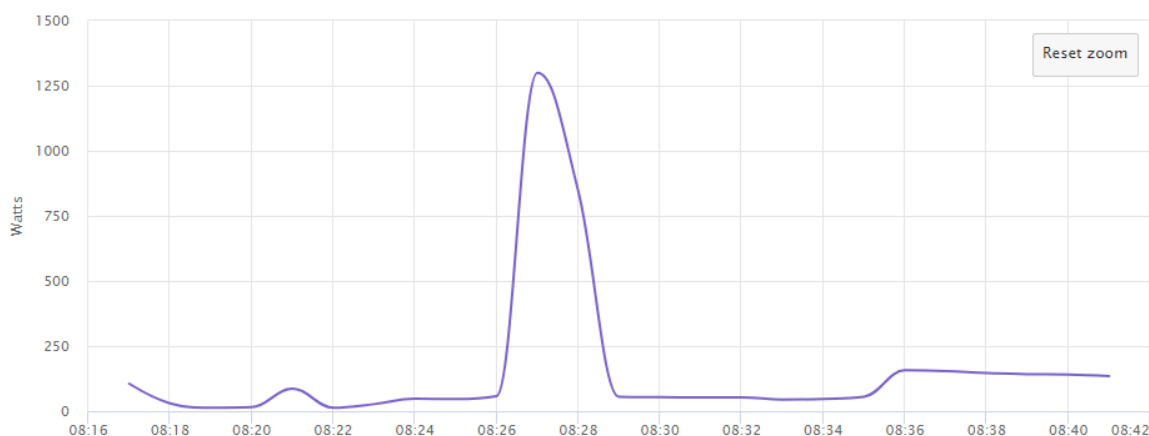
**Figura 33.** Perfil de consum del rentaplats. Font: Generació pròpia.



### Microones

És una càrrega crítica i que és connecta de manera puntual però que té un pic de potència que arriba als 1300 W.

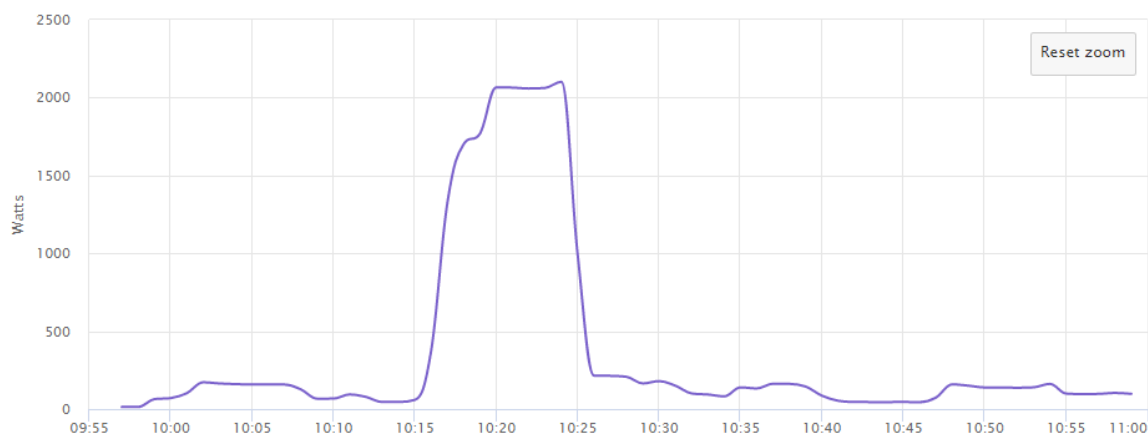
A continuació es mostra l'exemple d'un ús de 3 minuts aproximadament.



**Figura 34.** Perfil de consum de microones. Font: Generació pròpia.

### Planxa

La planxa és un tipus de càrrega crítica que no es pot controlar quan es connecta a la xarxa. La corba correspon a una planxa de potència nominal 2200 W. En aquest habitatge el temps d'ús de l'aparell que es fa normalment és molt baix, 12-15 min cada setmana, aproximadament.

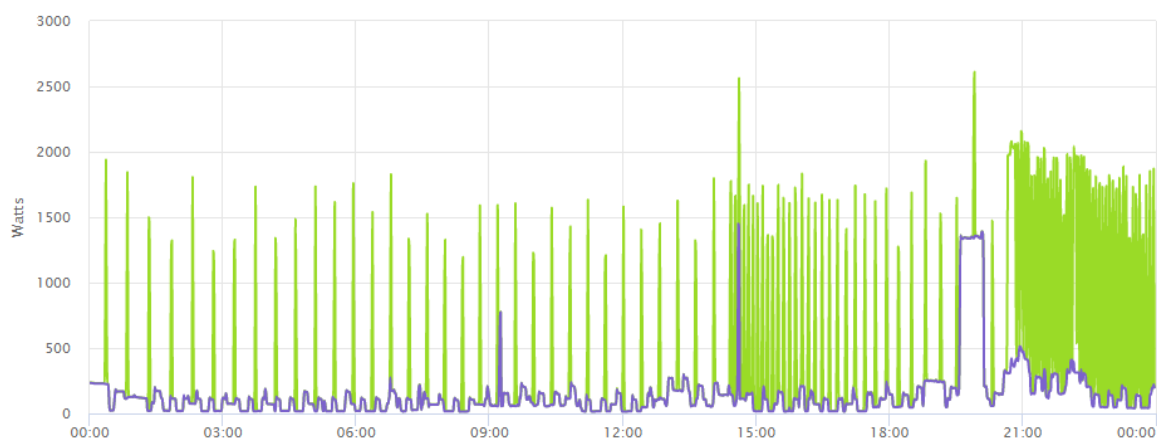


**Figura 35.** Perfil de consum de la planxa. Font: Generació pròpia.

### Termo elèctric

El termo elèctric usat en l'habitatge és d'una potència nominal de 1500W.

El seu comportament, representa una despesa energètica molt alta. En l'exemple de la imatge, el consum d'energia total del dia va ser de 8,55 kWh i el consum del termo elèctric va ser, segons Mirubee, de 4.92 kWh, és a dir, un 58 %.



**Figura 36.** Consum general d'un dia qualsevol a l'habitatge. En verd: consum general, en lila, consum de la majoria dels electrodomèstics exceptuant el termo elèctric. Font: Generació pròpia.

El comportament del termo seria l'equivalent a la resta de les dues corbes, la verda i la lila.

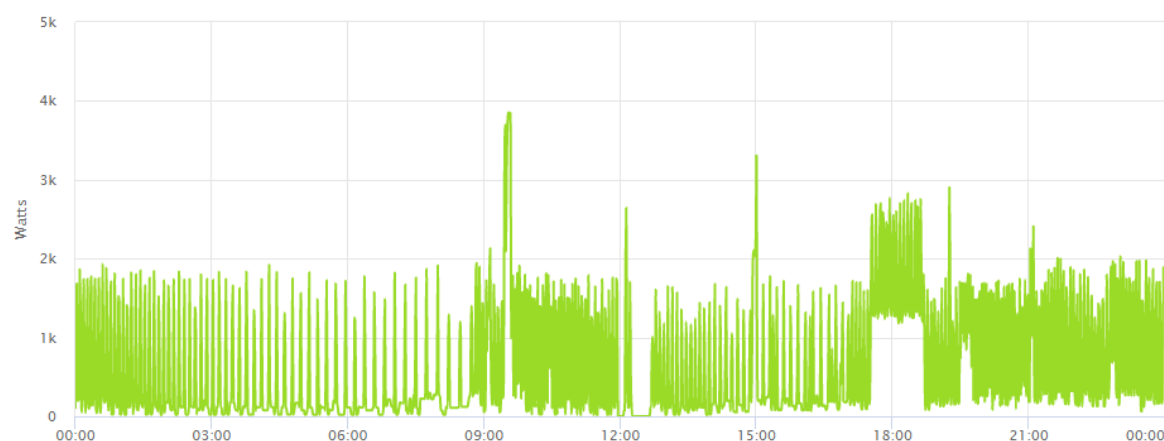
Com es pot veure en la imatge, l'aparell té un comportament d'encesa i apagament constants. Són pics de 1500 W de freqüència variable: per la nit la freqüència és de 10 minuts a 15 minuts, mentre que de dia pot arribar a ser a cada minut.

A l'apartat 3.3.3 s'ha explicat que efectivament la climatització representa el principal consum d'un habitatge. En aquest cas concret però, la caldera que es disposa és de combustió de biomassa i no es veu reflectit. És el termo d'escalfament d'aigua sanitària que consumeix tanta energia. Per tant, seguint amb la línia de l'exposat anteriorment es recomanaria a l'usuari que es programin les hores de consum i es seleccionin les temperatures al termòstat de manera responsable.

## 6.2 Dimensionament de la potència màxima de la xarxa

La potència de la xarxa es definirà segons les corbes extretes per Mirubee de consum i les opcions que ofereixen les comercialitzadores.

Del mes d'abril enregistrat, se'n pot observar que el pitjor dels casos, és a dir, el dia de més consum va ser el dia 10 amb 15kWh d'energia consumida. Es pot veure a la figura 11 en l'apartat de càrregues. L'energia total gastada en aquest mes va ser 314,2 kWh.



**Figura 37.** Consum del dia 10 d'abril.

La potència instantània màxima és del dia fou de 3,845 kW.

De les potències normalitzades disponibles s'elegeix la de 1,15kW per aprofitar al màxim la capacitat del sistema d'emmagatzematge.

INTENSIDADES	MONOFÁSICO		TRIFÁSICO	
I.C.P. (Amperios)	Potencia	Tarifa Acceso	Potencia	Tarifa Acceso
	230V		230/400V	
5	1,15	2.0A	3,464	2.0A
10	2,3		6,928	
15	3,45		10,392	2.1A
20	4,6		13,856	
25	5,75		17,321	3.0A
30	6,9		30,785	
35	8,05		24,249	
40	9,2	2.1A	27,713	
45	10,35		31,177	
50	11,5		34,641	
63	14,49		43,648	

**Figura 38.** Potències contractades normalitzades. Font: <http://www.ecoserveis.net/es/baja-tu-potencia-contratada-nuestro-consejo-para-afrontar-la-nueva-subida-de-la-electricidad>

## 6.3 Dimensionament de la instal·lació fotovoltaica

### 6.3.1 Avaluació del recurs solar

S'ha decidit que la instal·lació fotovoltaica s'emplaçarà sobre la teulada. Es dimensionarà perquè es pugui aprofitar el màxim d'espai disponible i es pugui optimitzar la superfície de captació.

#### *Panells fotovoltaics*

El primer pas pel dimensionament de la instal·lació fotovoltaica serà l'elecció dels panells fotovoltaics.

El panell fotovoltaic que s'ha elegit és el model: Q.Antum Solar Module 340 W de Hanwha Q cells. Les característiques del model estan resumides a la taula.

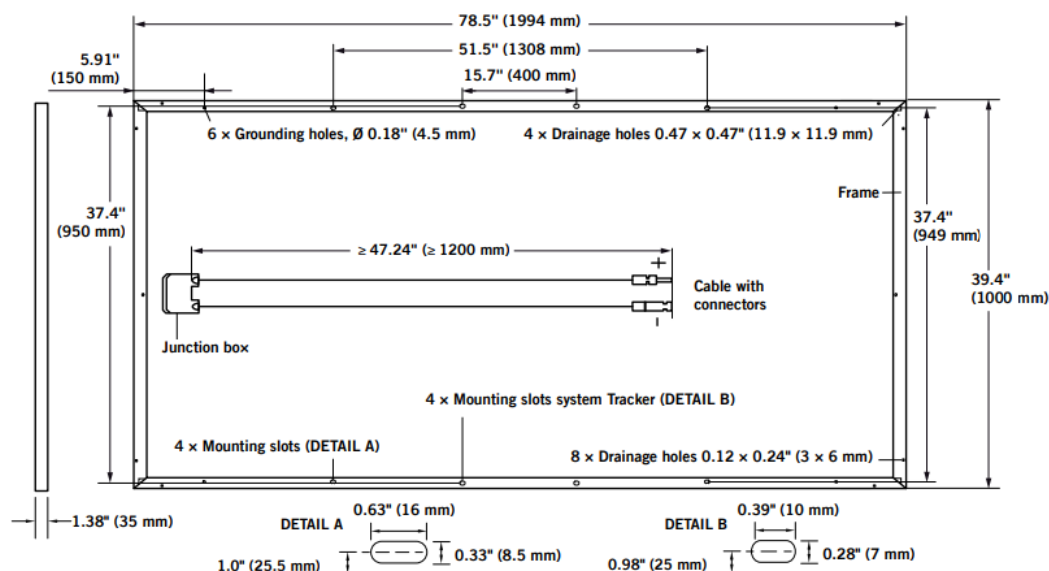
El panel està format per cel·les monocristal·lines que proporcionen un rendiment fins un 17,1%.

La fitxa tècnica es pot trobar als annexos.

Característiques elèctriques en STC (25°C AM 1.5, 1000 W/m <sup>2</sup> )	
Potència (P)	340 W
Voltatge en circuit obert (Voc)	47,07 V
Voltatge de màxima potència (Vmp)	37,63 V
Corrent en curtcircuit (Isc)	9,59 A
Corrent a màxima potència (Imp)	9,03 A
Màxima potència (Wp)	340 W ± 3%
Temperatura d'operació	-40°C a +85°C
Temperatura de treball (NOCT)	45 °C ± 3°C
Coeficient de temperatura de Wp ( $\delta$ )	-0,40 %/K
Coeficient de temperatura de Voc ( $\beta$ )	-0,29 %/K
Coeficient de temperatura de Isc ( $\alpha$ )	0,04 %/K
Característiques mecàniques i dimensions	

Dimensions	1994x1000x35mm
Pes	24 kg

**Taula 16.** Característiques elèctriques i mecàniques del panell elegit. Font: fulla de característiques.



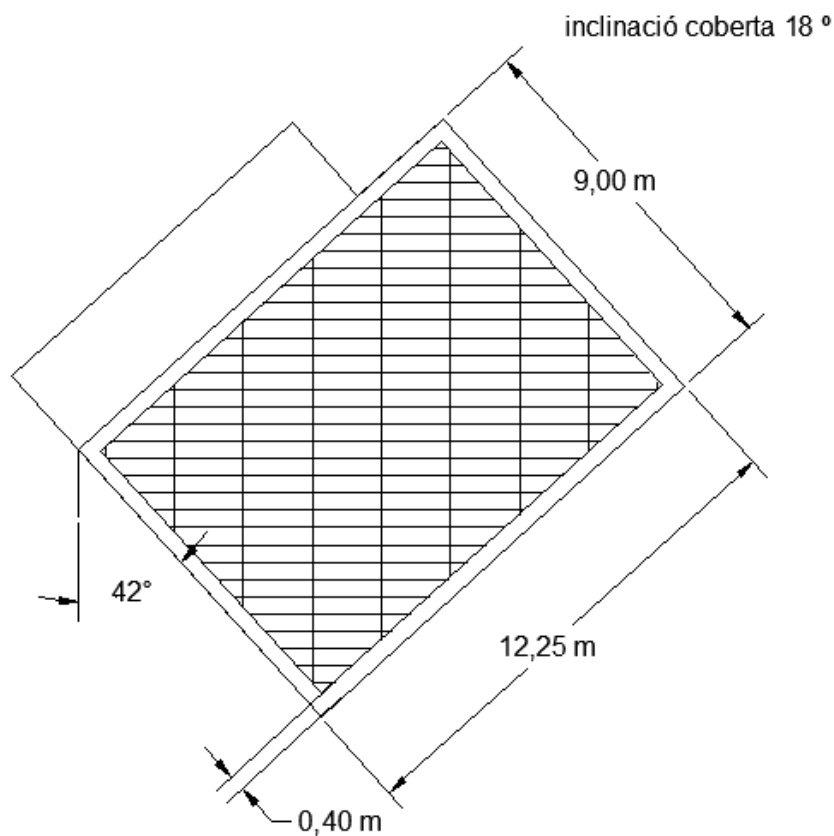
**Figura 39.** Dimensions del panell elegit. Font: fulla de característiques.

### **Anàlisi de la superfície disponible.**

La superfície disponible per a la col·locació de panells fotovoltaics és la emmarcada en la següent figura. Aquesta superfície suma 110,25 m<sup>2</sup>.

Les altres no es consideren ja que estan orientades de forma que tenen ombra la gran majoria d'hores del dia. Sabent que la inclinació de la coberta és de 18°, la superfície inclinada disponible que es pot emprar és de 115,9 m<sup>2</sup>. Es deixarà un marge de 40 centímetres perimetrals com a zones de pas.

En el cas de què es volgués aprofitar la inclinació de la coberta, s'hauria de tenir en compte que l'habitatge està ubicat amb un angle azimutal de 42°.



**Figura 40.** Superfície considerada per a la instal·lació de panells fotovoltaics àrea ratllada. Font: Generació pròpia.

Per tant, la superfície disponible per a la disposició dels panells és,

$$\text{Superfície disponible} = 107,4 \text{ m}^2 \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Per a la col·locació dels mòduls fotovoltaics, es presenten dues opcions. La primera és utilitzant el pendent propi de la teulada, així s'aconseguiria reduir molt l'espai entre mòduls. Mentre que la segona opció seria elevar els mòduls a un pendent òptim i deixant una distància mínima entre panells que seria més gran.

Per elegir l'opció més productiva s'utilitzarà un software específic.

**Software emprat pel càlcul de la radiació solar.**



Per avaluar el recurs solar s'ha fet servir els resultats de PVGIS. PVGIS és un software que calcula mensualment i anualment el potencial de generació elèctrica en kWh que té un sistema fotovoltaic, en qual s'ha definit el pendent i l'orientació dels mòduls.

### **Disposició final dels panells**

Si es fa una primera aproximació amb PVGIS analitzat els tres casos exposats a continuació, fàcilment es podrà decidir sobre la disposició final dels panells.

El primer cas estudiat seria el proposat per PVGIS amb la inclinació i azimuth òptim. Aquest cas seria el que s'utilitzaria si els panells no es fixessin sobre coberta. En el segon cas, es fixa l'angle azimuth, és a dir, l'orientació de la casa i es busca quina seria la inclinació òptima en aquesta situació. Per últim, el tercer cas es correspondria a

Inclinació	Azimut	Irradiància total per any i per kW instal·lat
35° - òptim	0° - òptim	2020 kWh/m <sup>2</sup>
30° - òptim	-42°	1920 kWh/m <sup>2</sup>
18°	-42°	1890 kWh/m <sup>2</sup>

**Figura 41.** Estudi de les diferents opcions per a la disposició dels panells. Font: generació pròpia.

Per tant es decideix que entre la segona opció i la tercera, que són realment les que s'han plantejades, la millor és la tercera, ja que la diferència de radiació entre les opcions és de menys d'un 2%. Així s'aconseguirà una major superfície de captació.

### **Càlcul del màxim nombre de panells**

En aquest apartat es determinarà el nombre de panells fotovoltaics màxims que es poden instal·lar segons la superfície disponible amb l'equació que segueix.

$$Panells_{pv} = \frac{Sup.disponible}{Sup.panell} = \frac{107,4m^2}{1,994m^2} = 53 panells \quad (Eq. 6.2)$$

### Resultats del PVGIS

S'ha fet servir el tipus de mòdul de Silici cristal·lí, un mòdul estàndard. Encara que l'elegit és monocristal·lí i l'eficiència és una mica major, però per dimensionar ens situem als pitjors dels casos.

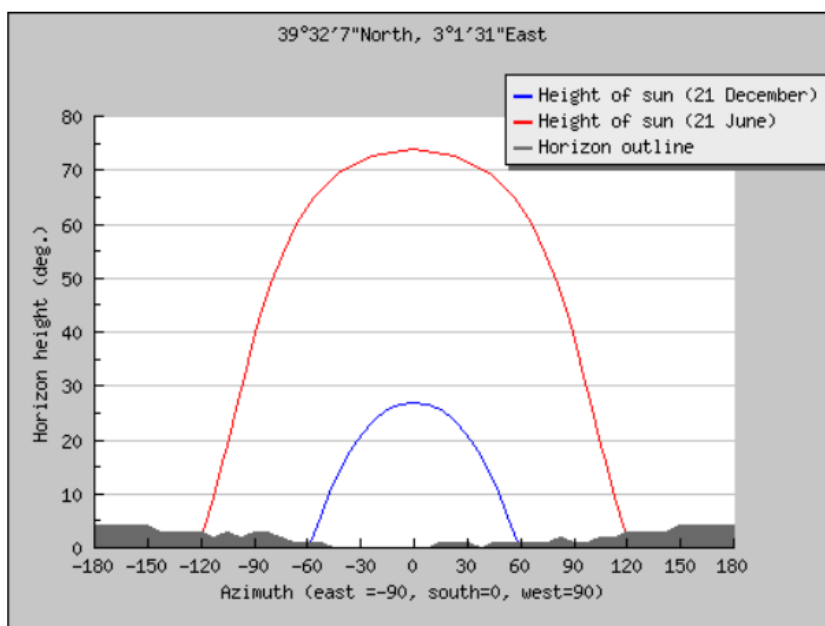
Es fa servir un estimació per pèrdues per baixes temperatures i irradiàncies d'un 14,8%, s'estimen també unes pèrdues per efectes de reflectància d'un 2,9%. Altres pèrdues globals s'estimen d'un 14%. La combinació de totes les pèrdues que afecten el sistema són d'un 28,8%.

Els càlculs s'han fet considerant la instal·lació d'1kW. D'aquesta manera, els resultats de l'energia produïda es calcularan multiplicant l'energia per kW per la potència de panells instal·lada.

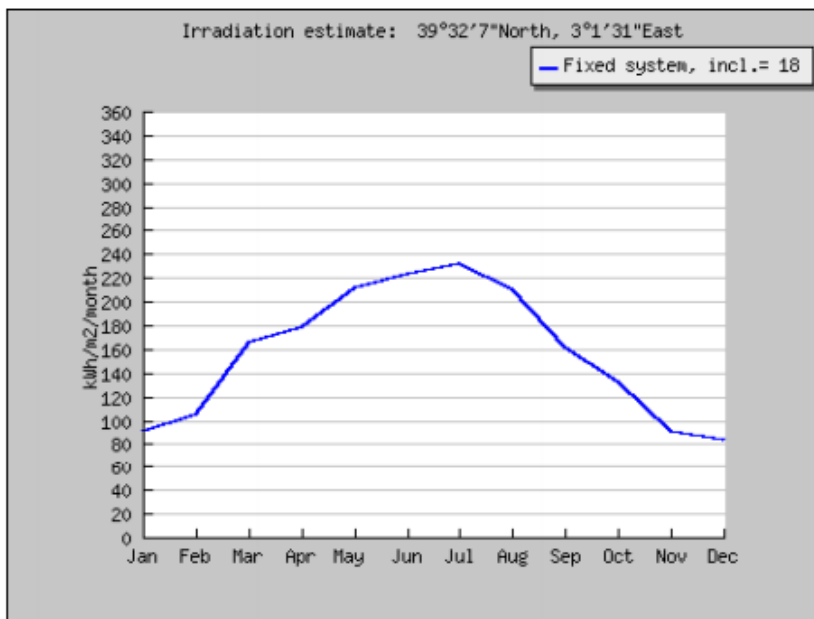
- Ed: Producció elèctrica mitja diària.
- Em: Producció elèctrica mitja mensual.
- Hd: Suma diària de la irradiació mitja global per metre quadrat rebut als mòduls.
- Hm: Suma de la irradiació global per metre quadrat rebut als mòduls.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.21	68.6	2.92	90.5
Feb	2.82	78.9	3.74	105
Mar	3.92	121	5.34	165
Apr	4.24	127	5.94	178
May	4.80	149	6.84	212
Jun	5.14	154	7.43	223
Jul	5.10	158	7.48	232
Aug	4.64	144	6.79	210
Sep	3.73	112	5.36	161
Oct	3.05	94.4	4.29	133
Nov	2.24	67.1	3.03	90.9
Dec	2.05	63.4	2.71	84.0
Year	3.67	111	5.16	157
Total for year		1340		1890

**Figura 42.** Resultats de la radiació per una potència instal·lada d'1kW. Font: PVGIS.



**Figura 43.** Horitzó solar pel mes d'estiu i d'hivern. Font: PVGIS.



**Figura 44.** Irradiació mitjana mensual. Font: PVGIS.

### 6.3.2 Potència fotovoltaica instal·lada

Per realitzar l'acotament de l'anàlisi del recurs solar i decidir el número de panells a instal·lar es farà tenint en compte el consum de l'habitatge. D'entre les dades enregistrades (abril i maig) per l'aparell Mirubee en el pitjor cas i sense aplicar cap estratègia d'optimització energètica, es pot extreure que el consum mensual va ser de 314 kWh.

De l'apartat d'avaluació del recurs solar s'extreu que en el pitjor dels casos, l'energia mensual produïda seria 63,4 kWh en el mes de desembre.

Es decideix dimensionar pel consum de l'habitatge, per tant:

$$Nombre_{panells} = E_{cons} \cdot \frac{P_{1Panell}}{E_{prod} \cdot P_{1panell}} = 314 kWh \cdot \frac{1 kWp}{63,4 kWh} \cdot \frac{1 panell}{340 \cdot 10^{-3} kW} = 15 \rightarrow 16 panells \quad (\text{Eq. 6.3})$$

S'instal·laran 16 panells per poder fer una distribució de dos branques en paral·lel, degut a les especificacions de l'inversor.

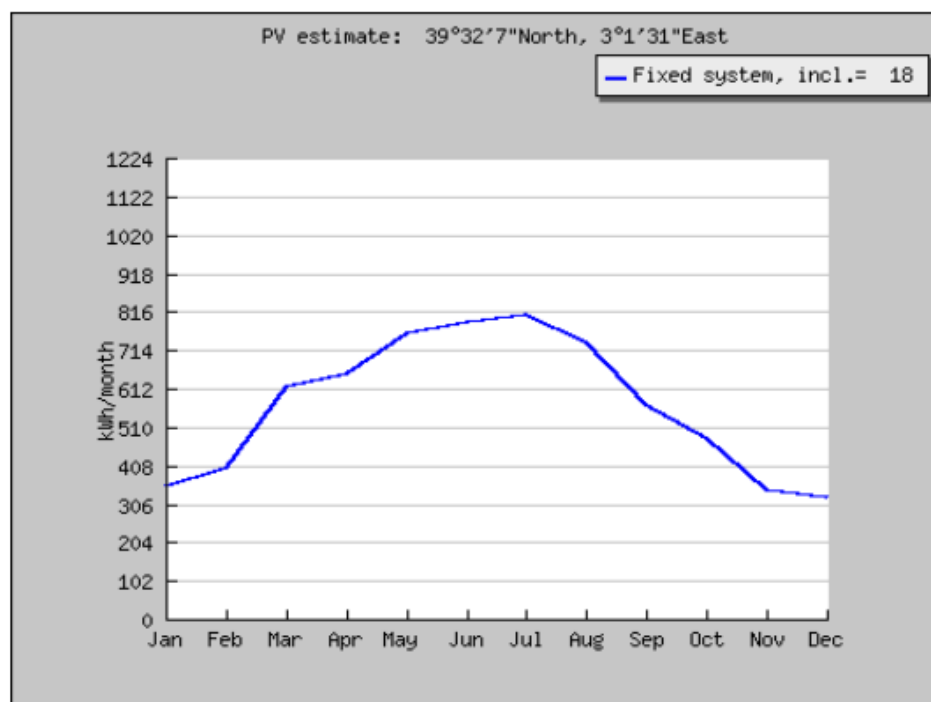
Per tant, el nombre de panells a instal·lar serà de 16 i la potència fotovoltaica instal·lada serà de:

$$P_{PVG} = P_{panell} \cdot Nombre_{panells} = 340 \text{ W} \cdot 16 = 5,4 \text{ kW} \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Per aquesta potència (5,4 kW), l'energia mensual produïda serà:

Mes	Ed (kWh)	Em (kWh)	Hd (kWh/m²)	Hm (kWh/m²)
Gener	11,30	350	2,92	90,5
Febrer	14,40	402	3,74	105
Març	20,00	619	5,34	165
Abril	21,60	649	5,94	178
Maig	24,50	759	6,84	212
Juny	26,20	787	7,43	223
Juliol	26,00	806	7,48	232
Agost	23,60	733	6,79	210
Setembre	19,00	570	5,36	161
Octubre	15,50	482	4,29	133
Novembre	11,40	342	3,03	90,9
Desembre	10,40	323	2,71	84,0
Total	18,70	569	5,16	157
Total per any		6820		1890

**Taula 17.** Resultats extrets pel sistema PVGIS per la localització estudiada i potència 5,4 kW. Font: PVGIS.



**Figura 45.** Estimació mensual d'energia produïda. Font: PVGIS.

## 6.4 Dimensionament de l'inversor

### *Elecció de l'inversor*

Alhora d'elegir inversor, es fan servir les referències de les comparatives extretes de la web *cleanenergy*.

D'entre els inversors híbrids que ofereixen gestió intel·ligent, n'hi ha diferents opcions. Es pot veure una taula comparativa amb diferents opcions disponibles al mercat.

Manufacturer	Pic	Model	Type	Use	Solar Input	Power Output	Surge/peak Power	Pass thru power	Compatible battery types	Other Features	Price Range
SolaX (China)		X-Hybrid	All-in-one hybrid inverter	Back-up (UPS) Solar storage	3.0kW, 4.0kW, 5.0kW	1.3 - 5.2kW	Ref specs	None	Lead-acid Lithium-ion	load shifting Mobile App & cloud monitoring	Low/Med
SolarEdge (USA)		StorEdge	All-in-one hybrid inverter (DC coupled - HV)	Back-up (UPS) Solar storage	10.2kW	5.0kW	Med (1.5 x Power Output)	None	Lithium-ion (HV - High Voltage)	Weather rated Load shifting Cloud monitoring & control	Med
Voltronic (China)		MPP Solar, Expert	All-in-one hybrid inverter	Back-up (UPS) Solar storage Off-grid	0.5kW-3.0kW	0.8kW, 1.2kW, 2.4kW, 4.0kW	Med	None	Lead-acid	load shifting	Low
Voltronic (China)		Infini, Hybrid	All-in-one hybrid inverter	Back-up (UPS) Solar storage Off-grid	4.5kW, 15kW (3-p)	3.0kW 10kW (3-phase)	Med	None	Lead-acid	load shifting	Low/Med
Redback (Australia)		Smart Hybrid (Gen II)	All-in-one hybrid inverter	Back-up (UPS) Solar storage Off-grid	6.0kW	5.0kW	Med (1.5 x Power Output)	9.6kW	Lithium-ion	Weather rated Integrated DC isolators Load shifting Mobile App & cloud control	Med
Growatt (China)		SP2000	All-in-one hybrid inverter (DC coupled)	Self-use	6.0kW	2.0kW	N/A	None	Lithium-ion	load shifting Mobile App control	Low/Med
Goodwe (China)		ES Series	All-in-one hybrid inverter	Back-up (UPS) Solar storage	4.2kW, 5.4kW	3.6kW 4.6kW	Med (1.5 x Power Output)	None	Lead-acid Lithium-ion	weather rated load shifting Mobile App control	Med

**Taula 18.** Taula comparativa d'inversors híbrids de mercat amb alta interacció amb l'usuari. Font:

[www.cleanenergy.com](http://www.cleanenergy.com)

Per a la implementació d'aquest treball s'ha escollit l'inversor Goodwe GW5048D-ES perquè les funcionalitats, el rang de potència admesa i el cost és el que més s'ajusta a aquest treball.

L'inversor permet realitzar diverses estratègies de control: load shifting (desplaçament de càrregues), un sistema de monitorització per a l'usuari per ordinador i mòbil. Inclou el sistema de gestió de bateries.

Les especificacions s'il·lustren a la taula que segueix.

**Technical Data****GW5048D-ES**

<b>Solar</b>	
Max. recommended PV Power [W]	6000
Nominal DC Power [W]	5000
Max. DC voltage [V]	580
MPPT voltage range [V]	125~550
Starting voltage [V]	150
Max. DC current [A]	11/11
No. of DC connectors	2
No. of MPPTs	2 (can parallel)
DC connector	AMPHENOL/ MC4/ SUNCLIX
<b>Battery</b>	
Battery type	Lead-acid or Li-Ion
Nominal Voltage [V]	48
Max Discharge power [W]	4600
MAX Charge power [W]	2300, programmable
Battery capacity [Ah]	≥ 100 (depending requirement)
Charging curve	3-stage adaptive with maintenance
Charging voltage [V]	57 (optional)
Battery temperature compensation	Included (Li-Ion)
Battery voltage sense	Integrated
Current shunt	Integrated
<b>AC Output Data</b>	
Nominal AC power [W]	4600
Max. AC power [W]	4600
Peak power (Back-up) [W]	1.5x P <sub>nom</sub> , 10sec
Max. AC current [A]	20
Nominal AC output	50/60Hz; 230Vac
AC output range	45~55Hz/55~65Hz; 180~270Vac
AC output (Back-up)	230Vac ?%, 50Hz(60Hz optional)
THDi	<1.5%
Power factor	0.8 leading~0.8 lagging
Grid connection	Single phase
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency	97.6%

**Taula 19.** Especificacions de l'inversor escollit: Goodwe GW5048D-ES . Font: Fulla de característiques.

## 6.5 Dimensionament de bateries

### *Elecció de la bateria.*

Per abastir el consum de l'habitatge, hem d'elegir el tipus de bateria que es farà servir.

Les bateries que s'han elegit per aquest treball són de la marca Sonnenschein, la línia SOLAR. Són bateries de la tecnologia VRLA, un tipus de bateria de plom àcid. Són caracteritzades perquè requereixen poc manteniment i són recomanades per consum i instal·lacions fotovoltaiques. S'ha escollit bateries de 12V i capacitat de 230 A·h.

A més, segueixen amb la línia de sostenibilitat d'aquest treball essent components completament reciclables.

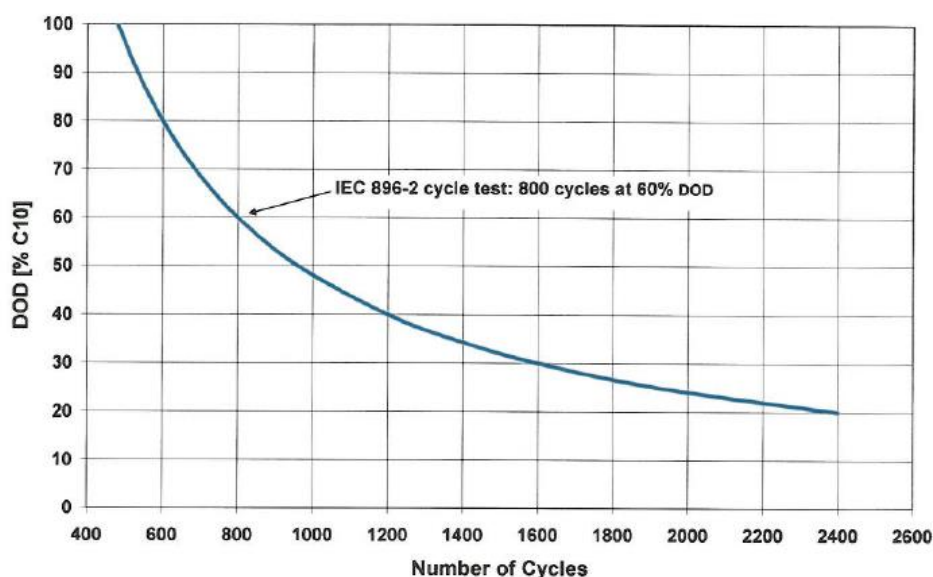


Les característiques de la bateria són:

Característiques de la bateria SOLAR S12/230 A	
Tensió nominal (V)	12 V
Capacitat nominal $C_{100}$ 1,80 V <sub>pc</sub> 20 °C	230 A·h
Corrent de descàrrega $I_{100}$	2,30 A
Capacitat $C_1$ (1,70 V <sub>pc</sub> )	120 A·h
Capacitat $C_5$ (1,70 V <sub>pc</sub> )	170 A·h
Capacitat $C_{10}$ (1,70 V <sub>pc</sub> )	190 A·h
Capacitat $C_{20}$ (1,75 V <sub>pc</sub> )	200 A·h
Característiques mecàniques i dimensions	
Dimensions	518x274x216mm
Pes	67 kg

**Taula 20.** Característiques de la bateria SOLAR S12/230 A. Font: Fulla de característiques.

Segons les condicions que normativitza l'IEC 896-2 (20 °C, descàrrega de 3h amb  $I_{des}=2 \cdot I_{10}$ ), aquestes bateries tenen un rendiment de 800 cicles a un 60% de profunditat de descàrrega (DOD). Es pot veure en la gràfica següent.



**Figura 46.** Gràfica que relaciona el nombre de cicles amb la profunditat de descàrrega. Font: fulla de característiques bateria SOLAR.

### ***Emplaçament de les bateries.***

Les bateries seran emplaçades a la cotxeria de l'habitatge, on hi ha una superfície reservada de 10 m<sup>2</sup>. Es pot veure a la imatge següent de color vermell.



**Figura 47.** Superfície en la qual s'ubicaran les bateries. Font: generació pròpia

La temperatura mitjana de l'ambient és de 18°C.

### ***Càlcul de la capacitat mínima.***

A continuació es calcularà la capacitat mínima de les bateries. Per això, es fixarà el següent:

- $E_{L,max}$ : Energia màxima consumida per dia. S'agafa 15 kWh al mes d'abril.
- $N_j$ : Número de dies d'autonomia. Es fixa aquesta constant a 1 dia.
- FT: Efecte de la temperatura. Es selecciona la temperatura més baixa mitjana a la qual estaran sotmeses les bateries. Es selecciona 15°C per l'ambient descrit prèviament.

Temperature (°C)	Temperature (°F)	Factor (FT)
+26	80+	1.00
+21	70	1.04
+15	60	1.11
+10	50	1.19
+4	40	1.30
-1	30	1.40
-6	20	1.59

**Figura 48.** Efecte de la temperatura a les bateries. Font: Optimization of photovoltaic Power Systems, Reikoua, Matagne.

- $V_b$ : Voltatge de les bateries. La bateria escollida és de 12V.
- DOD: (*Depth of discharge*). Profunditat de descàrrega: Aquesta constant està directament relacionada amb el número de cicles de la bateria. Com més baixa és, més duració tindrà la bateria. S'anomena descàrrega profunda quan DOD=80%. Segons les especificacions del fabricant, el DOD màxim de les bateries escollides és del 80%.
- $\eta_b$ : Eficiència de la bateria. No es tenen dades suficients de les especificacions. Es considerarà igual a 1.

$$C_b = \frac{E_{L_{\max}} \cdot N_j \cdot FT}{V_b \cdot DOD \cdot \eta_b} = \frac{15000Wh \cdot 1,11}{12V \cdot 0,8} = 1562,5Ah \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Per calcular el número de bateries a instal·lar:

$$Nombrebateries = \frac{C_{\text{mín total}}}{C_{\text{unitat}}} = \frac{1562,5Ah}{230Ah} = 7bateries \rightarrow 8bateries \quad (\text{Eq. 6.6})$$

## 7 Simulacions

En aquest apartat, s'han enregistrat un seguit de simulacions per demostrar el correcte funcionament de la micro-xarxa.

Com ja s'ha dit anteriorment, el programa utilitzat per realitzar les simulacions és Visual Studio. És un programa d'accés gratuït de Microsoft, que es programa per finestres (formularis). En una ampliació del projecte, aquest mateix programa podria comunicar amb el PLC per tal d'executar el control real de la micro-xarxa.

Primer es realitzaran les simulacions per dia 4 d'abril en diversos escenaris diferents. Seguidament, s'exposaran les simulacions per 6 dies i es farà un balanç de l'energia aportada.

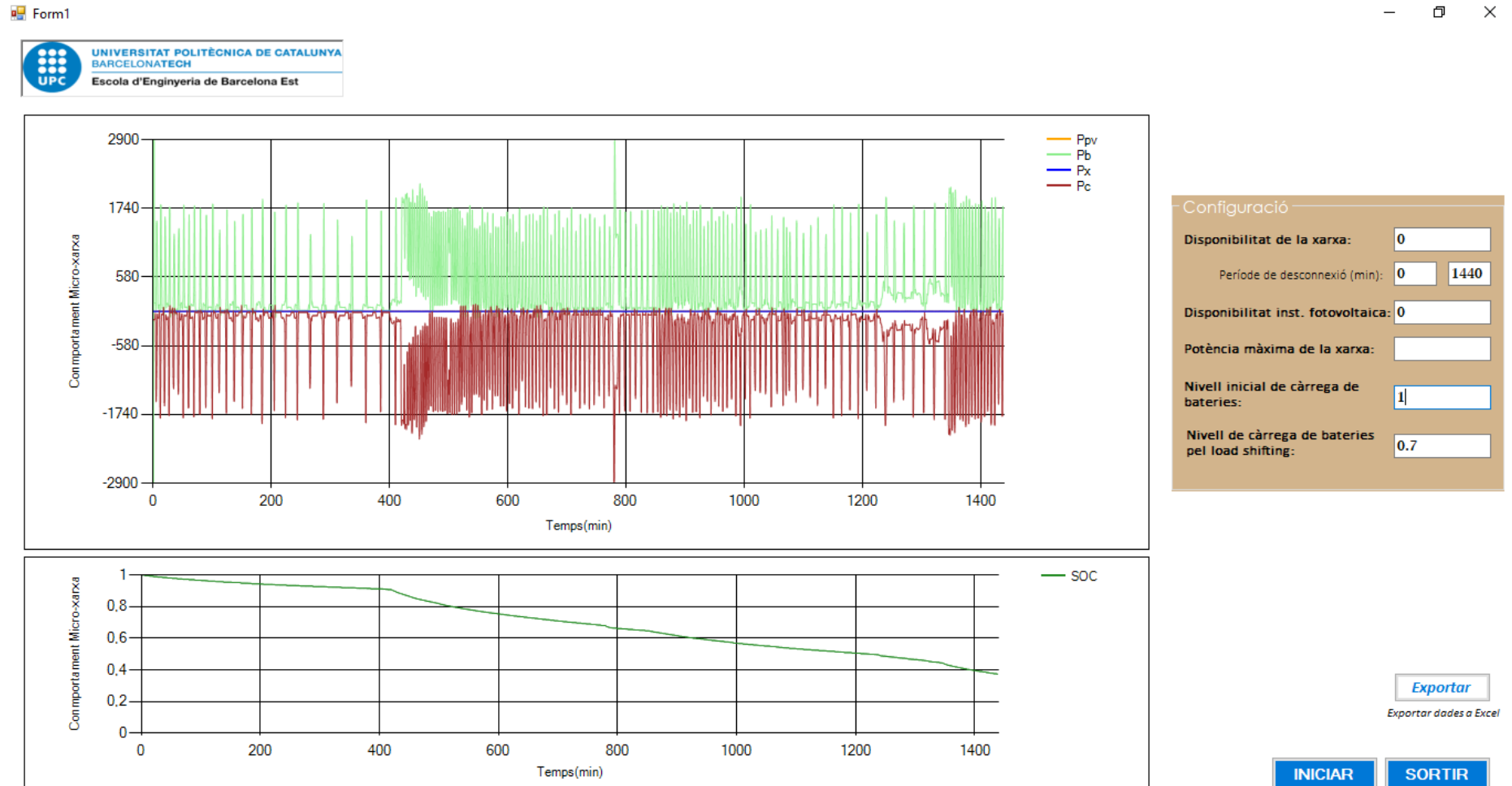
Les simulacions parteixen de les dades de consum preses del Mirubee i de l'estimació de la potència fotovoltaica generada pel PVGIS. La simulació s'ha realitzat per un pas de temps d'un minut, ja que així ho imposaven les dades de consum registrades pel Mirubee.

### 7.1 Simulació d'un dia

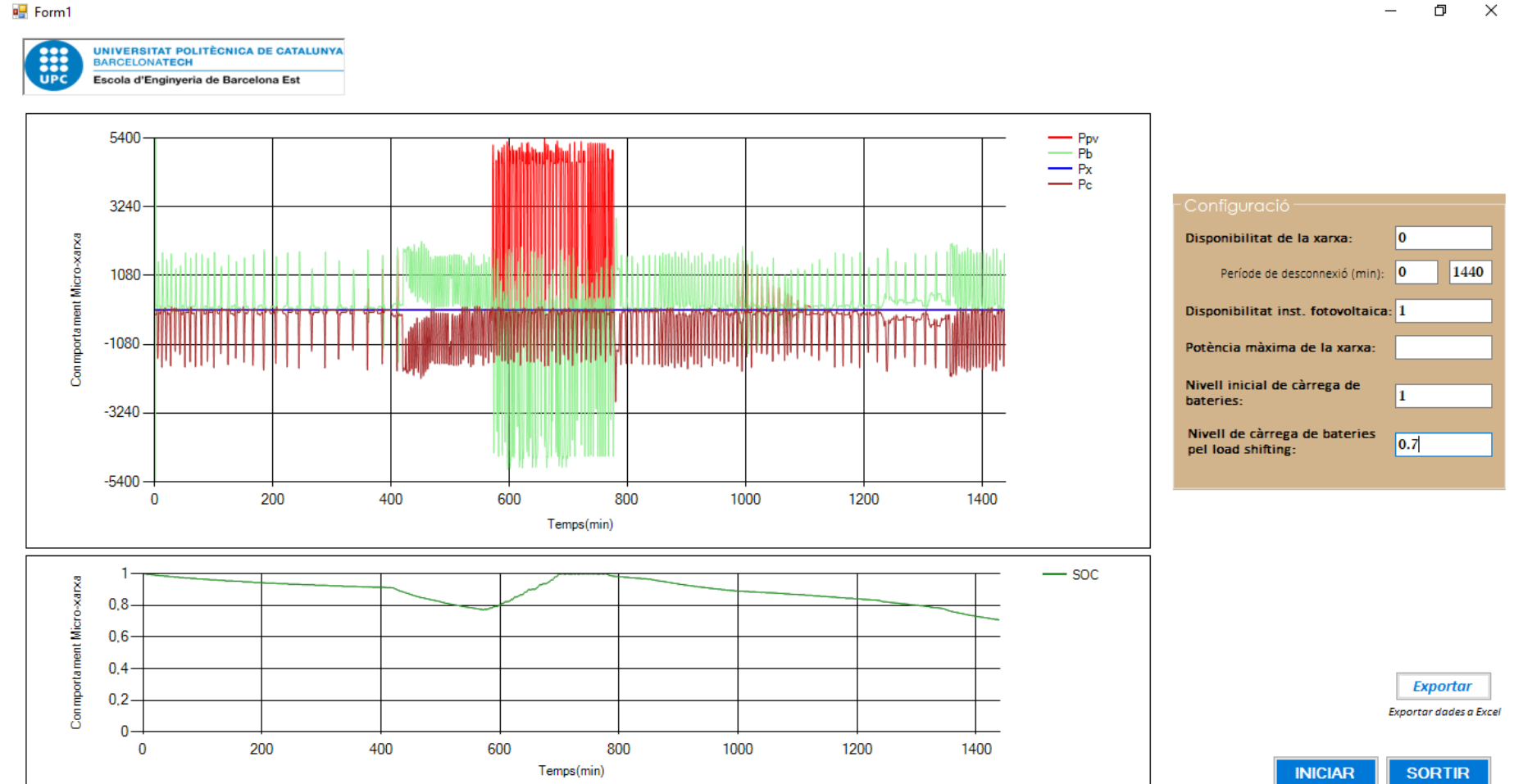
Al requadre de la dreta es poden veure les diferents configuracions per la qual s'ha extret la simulació i les següents imatges són ampliacions de les diferents parts.

La nomenclatura usada a la llegenda és la mateixa que a la taula de l'apartat 5.4.

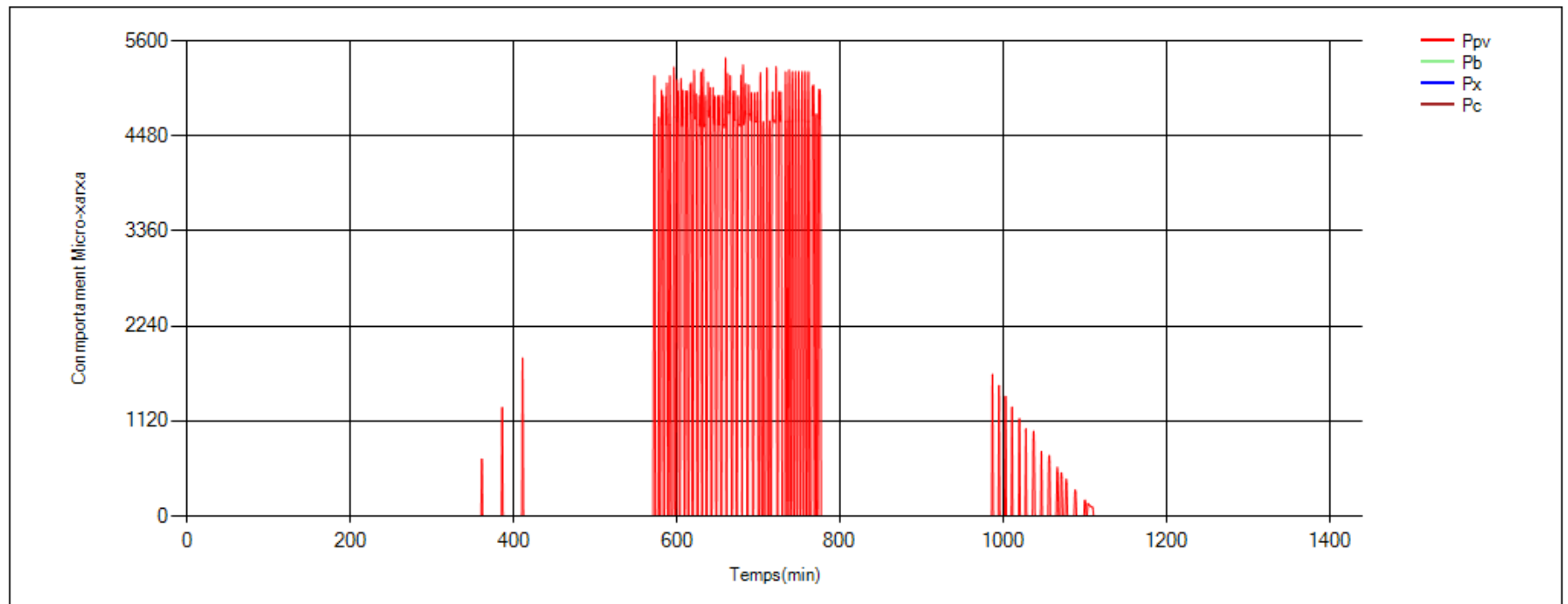
**Figura 49.** Gràfica de les diferents potències a l'eix vertical en W en funció del temps en minuts quan la generació fotovoltaica i la xarxa estan desconnectades. La gràfica inferior mostra el nivell de càrrega de les bateries en tant per 1. Font: generació pròpia.



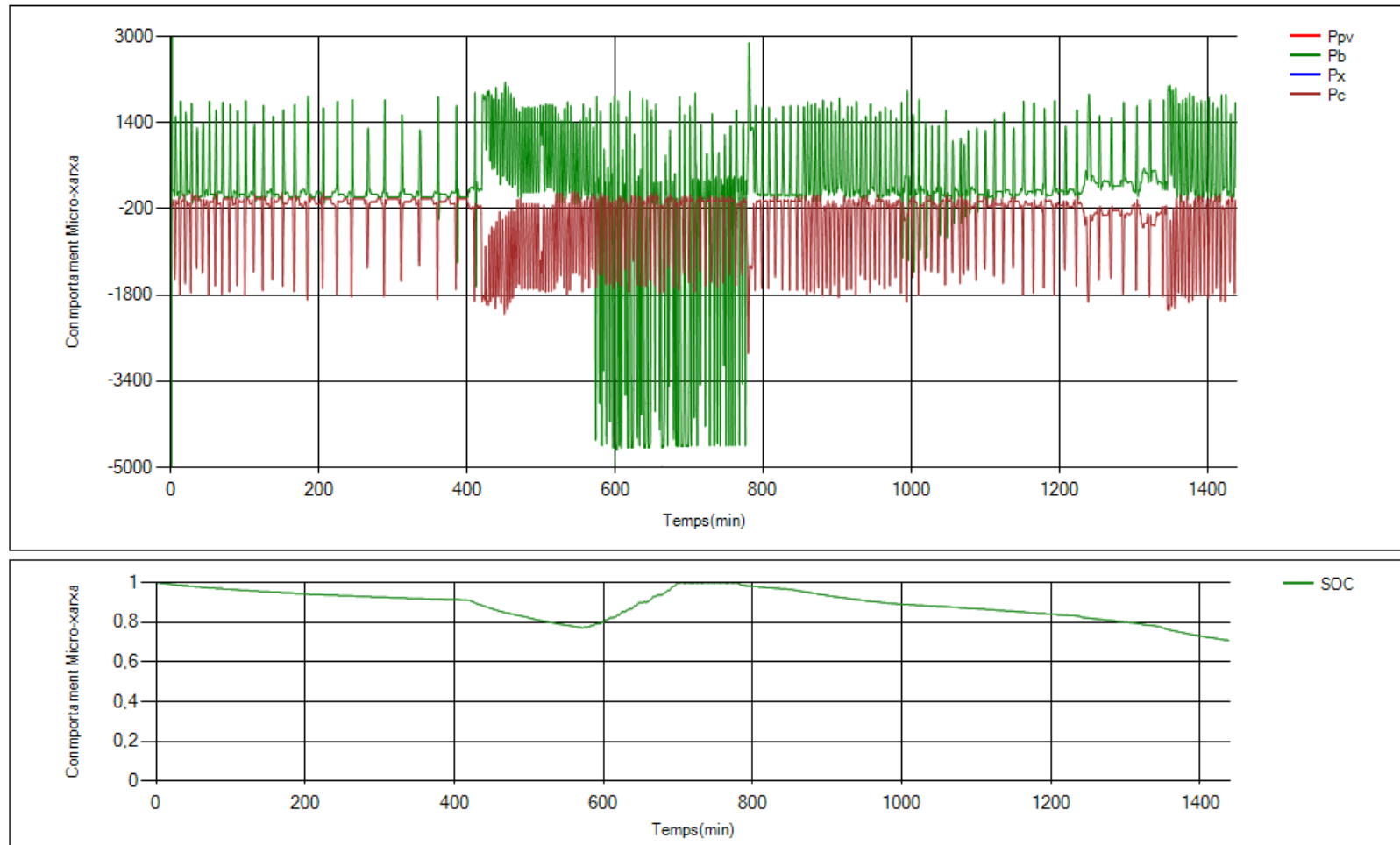
**Figura 50.** Gràfica de les diferents potències a l'eix vertical en W en funció del temps en minuts quan la generació fotovoltaica està produint però la xarxa està desconnectada. La gràfica inferior mostra el nivell de càrrega de les bateries en tant per 1. Font: generació pròpia.



**Figura 51.** Detall de la figura 50. Gràfica de la potència fotovoltaica en W en funció del temps en minuts quan la xarxa està desconnectada. Font: generació pròpia.

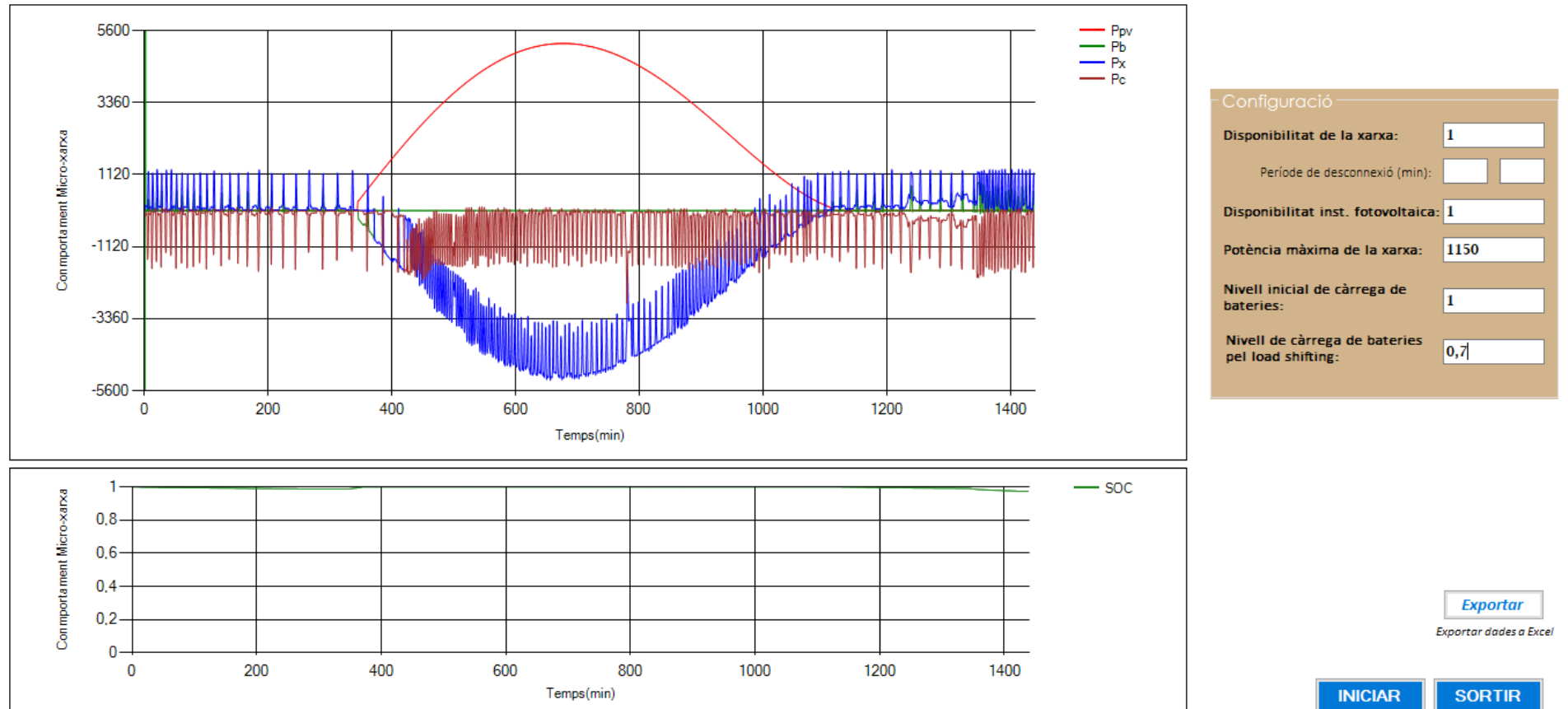


**Figura 52.** Detall de la figura 50. Gràfica de la potència a les bateries i del consum en W en funció del temps en minuts quan la xarxa està desconnectada. En la segona gràfica es mostra el nivell de càrrega de les bateries en tant per 1. Font: generació pròpia.

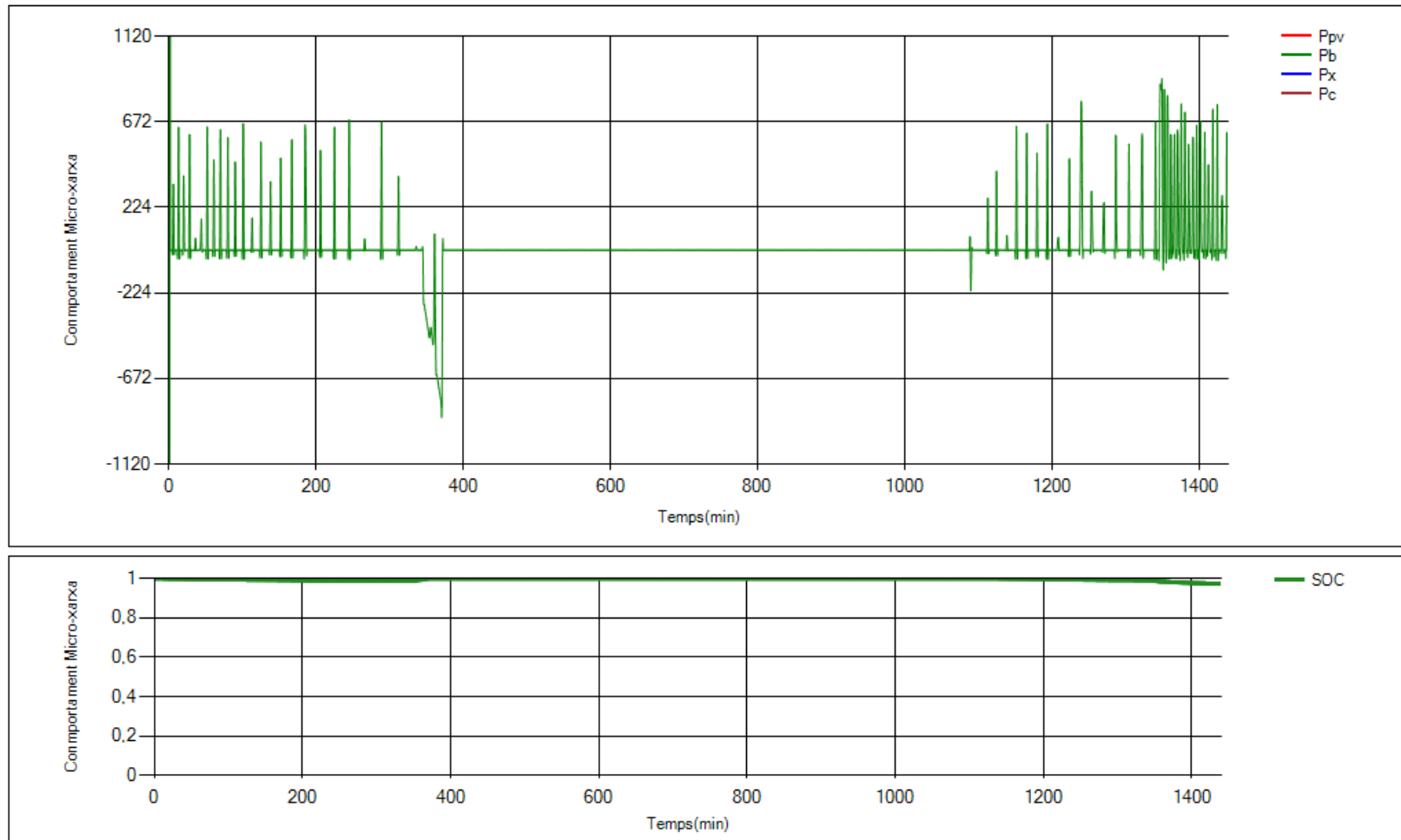




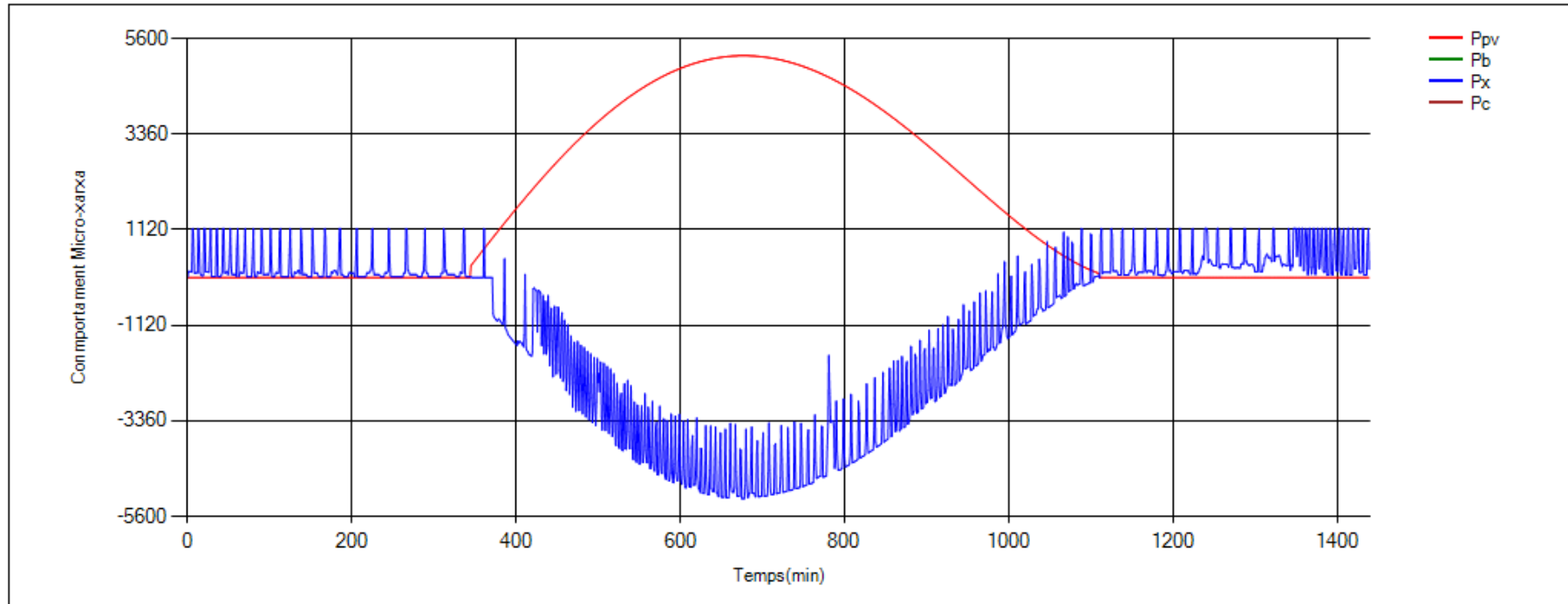
**Figura 53.** Gràfica de les diferents potències a l'eix vertical en W en funció del temps en minuts quan la generació fotovoltaica està produint i la xarxa està connectada. La gràfica inferior mostra el nivell de càrrega de les bateries en tant per 1. Font: generació pròpia.



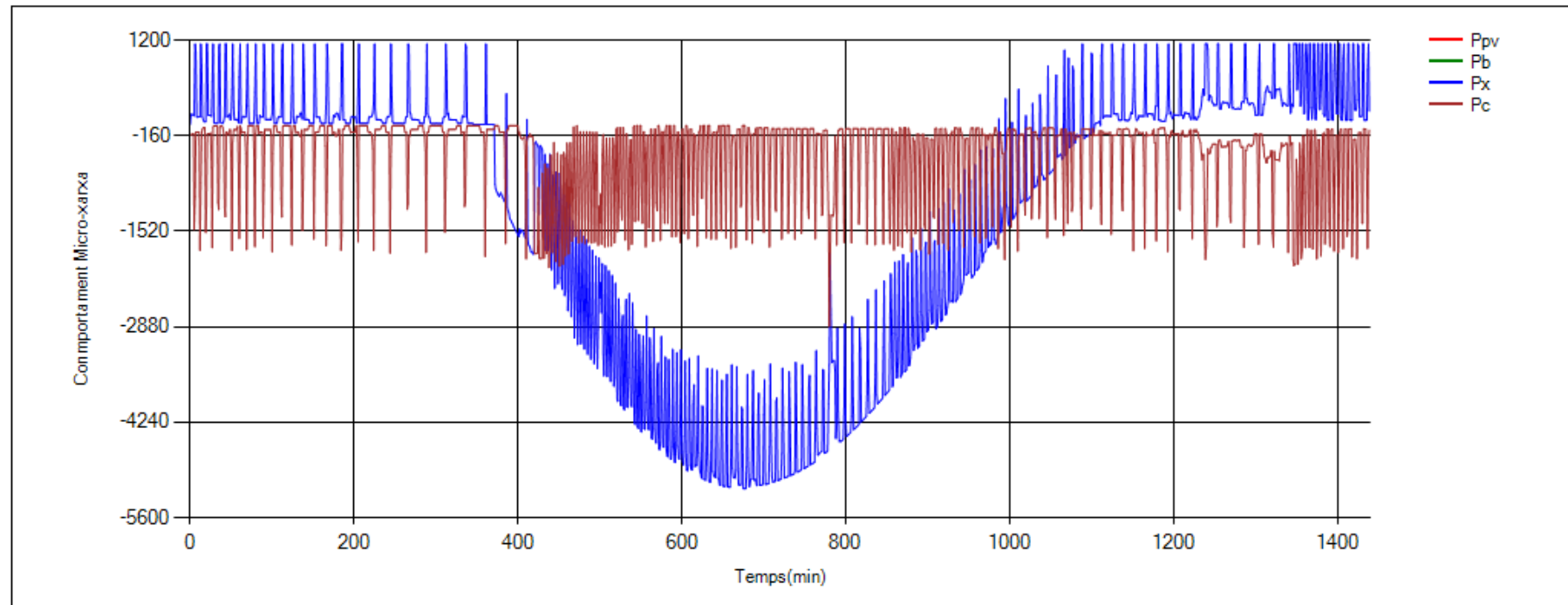
**Figura 54.** Detall de la figura 53. Gràfica de la potència a les bateries en W en funció del temps en minuts quan la xarxa està connectada i la instal·lació fotovoltaica produint. En la segona gràfica es mostra el nivell de càrrega de les bateries en tant per 1. Font: generació pròpia.



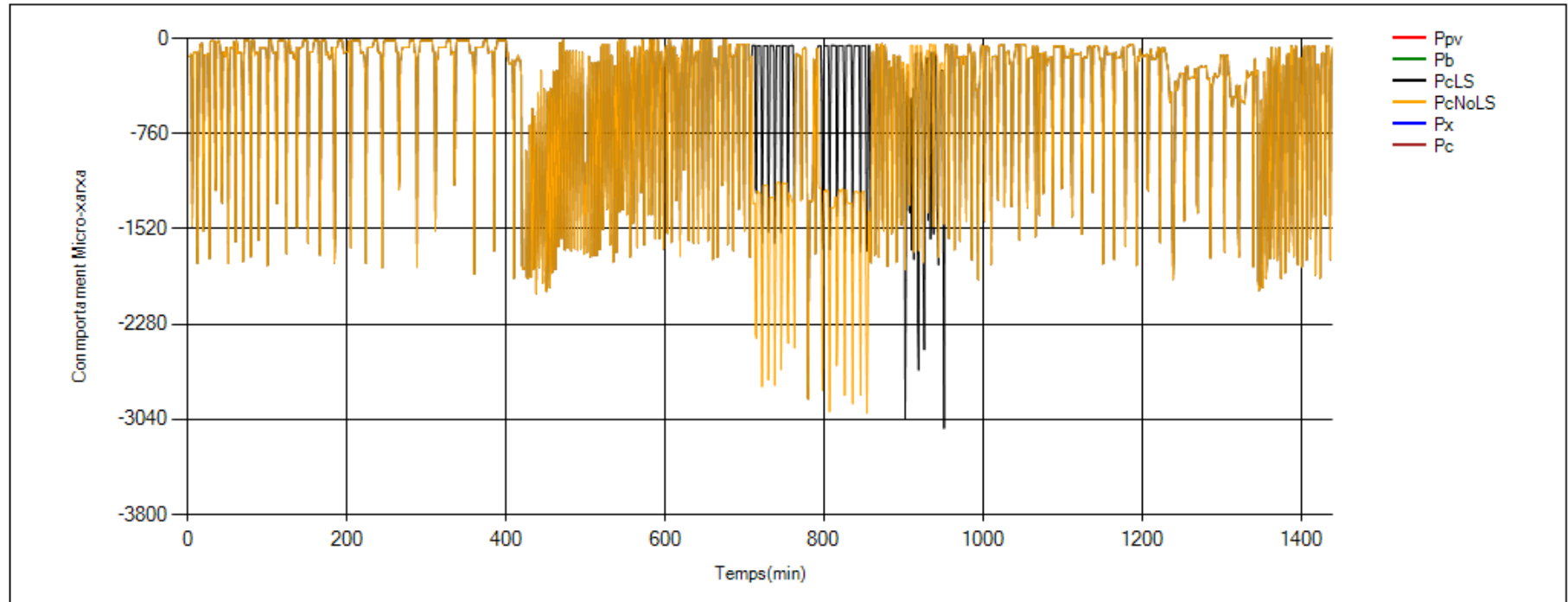
**Figura 55.** Detall de la figura 53. Gràfica de la potència de la instal·lació fotovoltaica i de la xarxa en W. Valors negatius de la xarxa signifiquen injecció. Font: generació pròpia.



**Figura 56.** Detall de la figura 53. Gràfica de la potència del consum i de la xarxa en W. Valors negatius de la xarxa signifiquen injecció. Font: generació pròpia.



**Figura 57.** Gràfica de la potència del consum quan hi ha load shifting i quan no. Per forçar el load shifting, s'ha desconnectat la xarxa fins el minut 900 i s'ha configurat el que el nivell de bateries inicial sigui de 0,5. Font: generació pròpia.

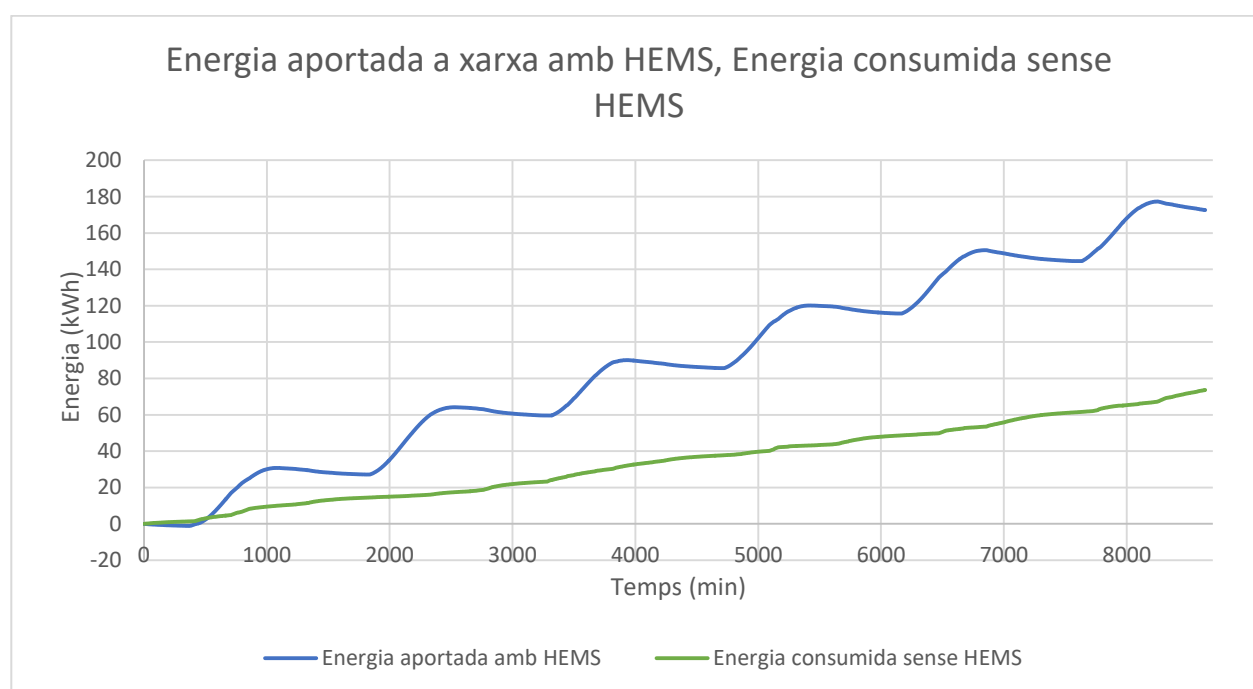


## 7.2 Simulació de sis dies

En aquest apartat s'analitzarà el comportament de la micro-xarxa durant un període de sis dies.

Es partirà d'un estat de càrrega completa de les bateries i es suposarà una desconexió de xarxa de 24 hores en el segon dia.

També s'ha fet un gràfic de l'energia aportada a la xarxa amb HEMS i l'energia consumida de xarxa sense HEMS, a mode de comparació.

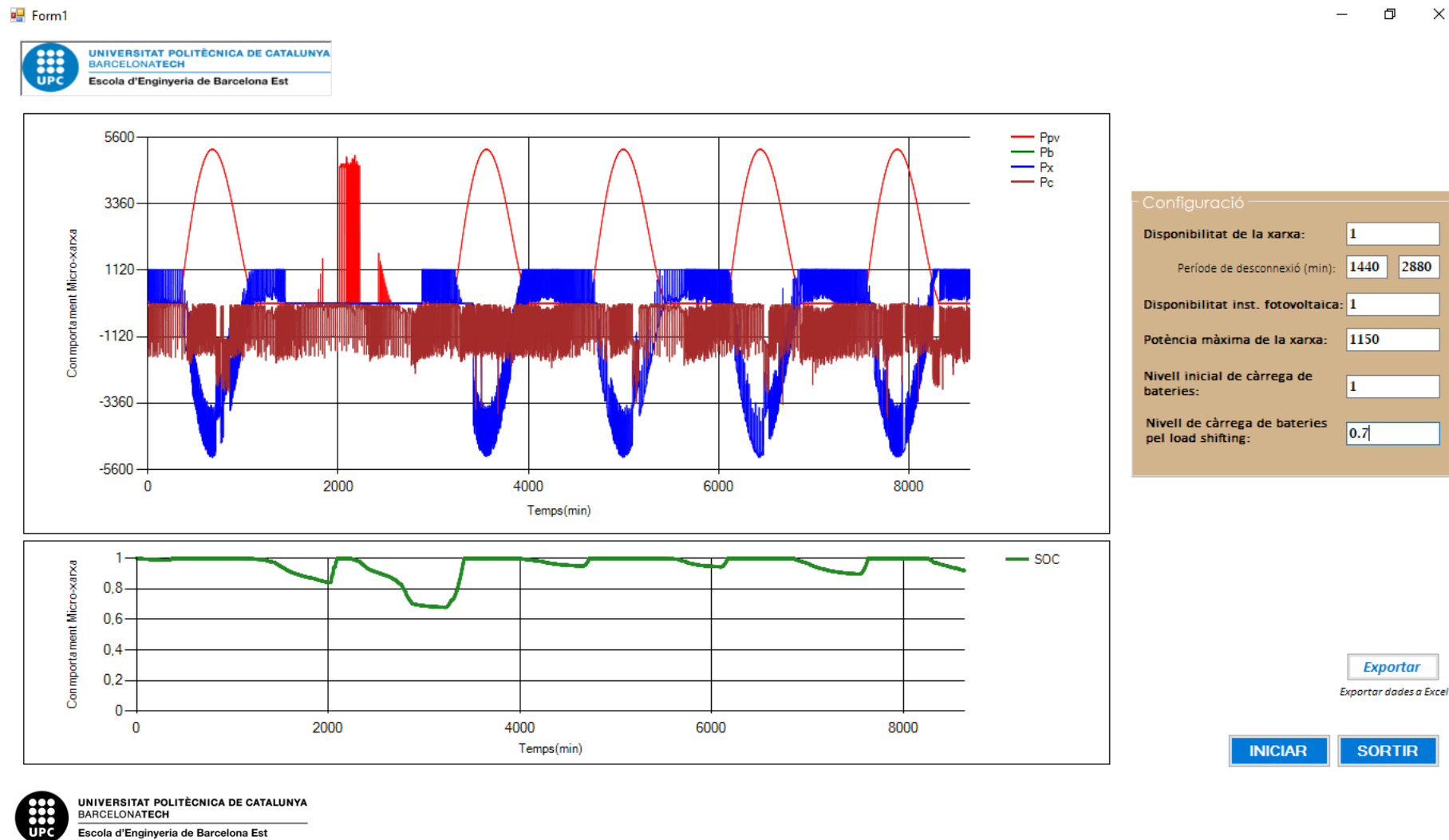


**Figura 58.** Gràfica de l'energia aportada a la xarxa amb HEMS i de l'energia consumida de la xarxa sense HEMS en kWh, en funció del temps. Font: Generació pròpia.

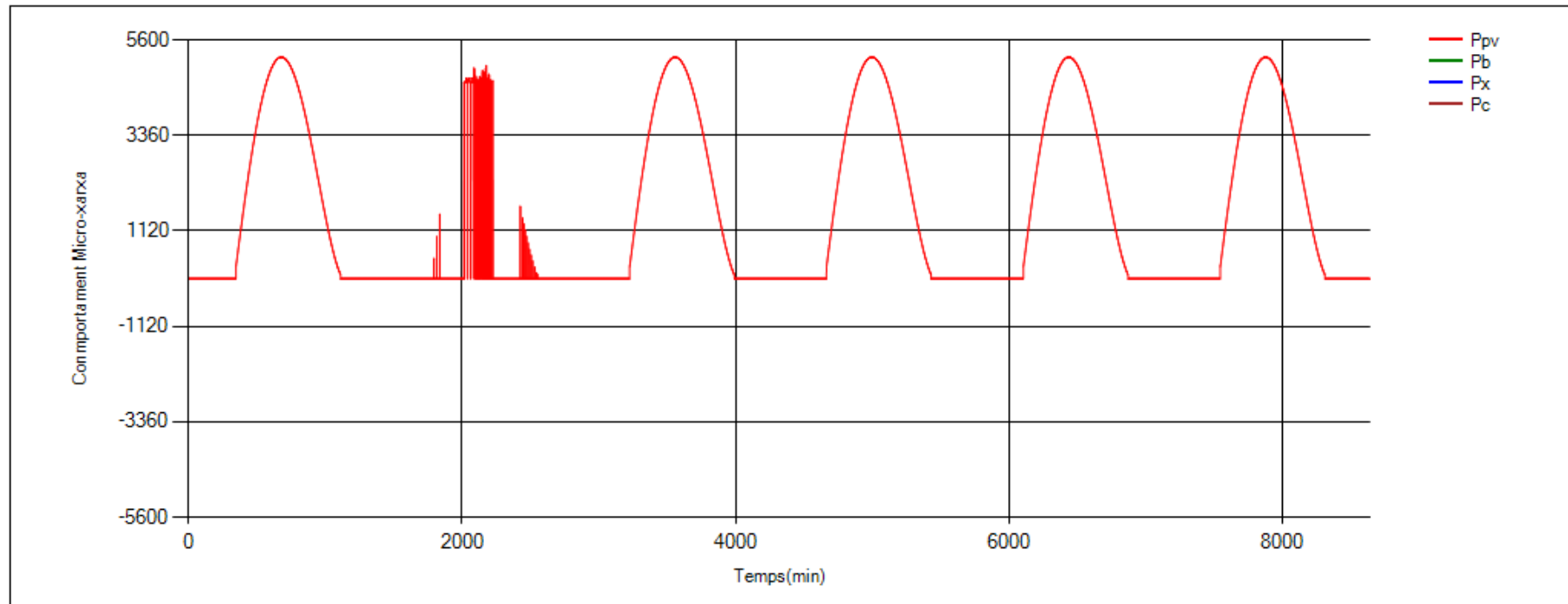
Com es pot veure en el gràfic, passats sis dies, l'energia inserida és de 70kWh. Cal tenir en compte que són sis dies analitzats del mes d'abril i per aquest motiu, l'energia generada també és més elevada.

En les simulacions es pot veure el correcte funcionament de la micro-xarxa, segons l'algorisme dissenyat. Es pot comprovar que fixant la mínima potència contractada al peak shaving és suficient per abastir les càrregues i que la micro-xarxa pot assumir la desconexió d'un dia a la xarxa significat una descarrega de les bateries d'un 30%.

**Figura 59.** Gràfica de les diferents potències a l'eix vertical en W en funció del temps en minuts quan la xarxa es desconnecta el segon dia. La gràfica inferior mostra el nivell de càrrega de les bateries en tant per 1. Font: generació pròpia.

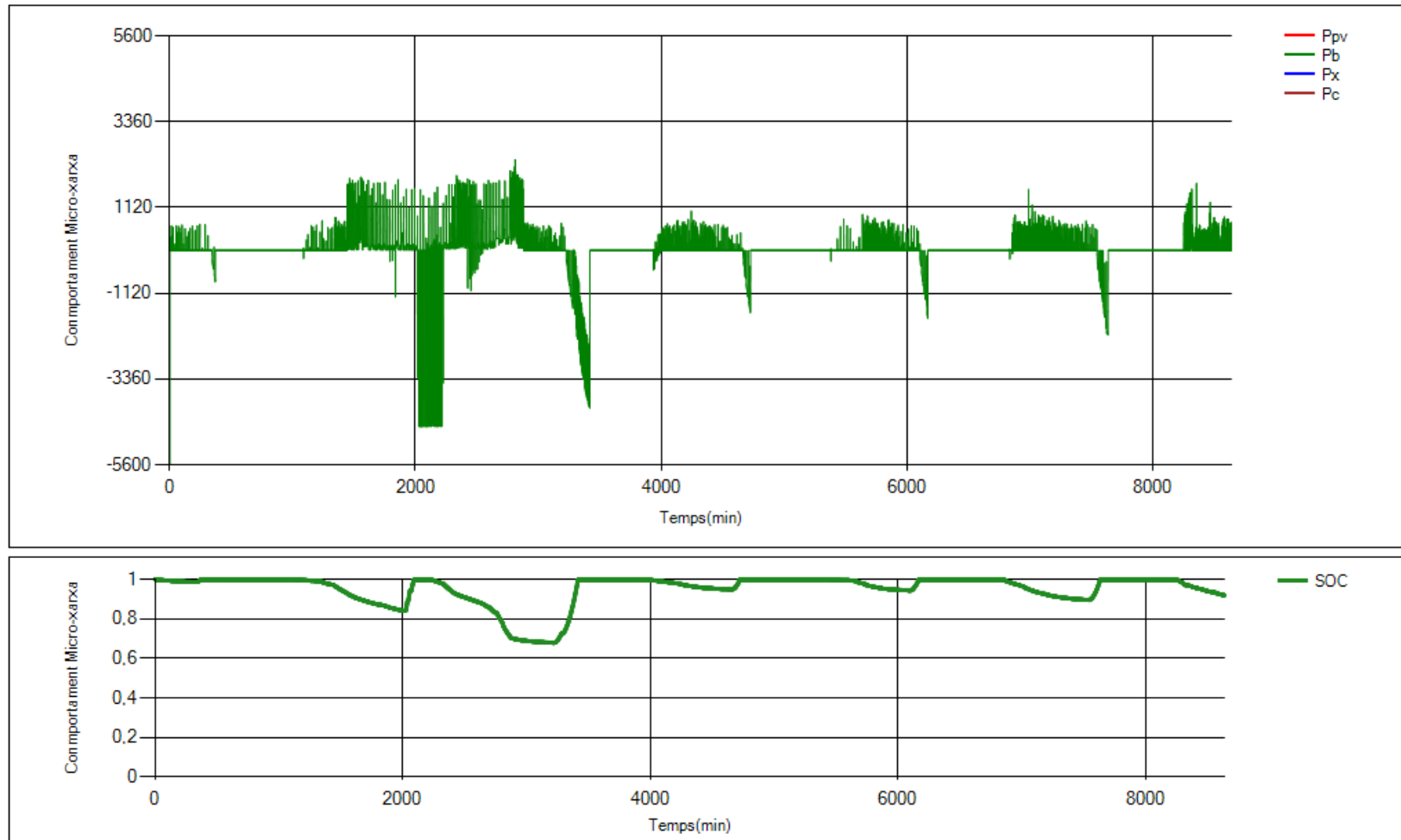


**Figura 60.** Detall de la figura 59. Gràfica de la potència fotovoltaica generada en W en funció del temps en minuts quan la xarxa es desconnecta el segon dia. Font: generació pròpia.

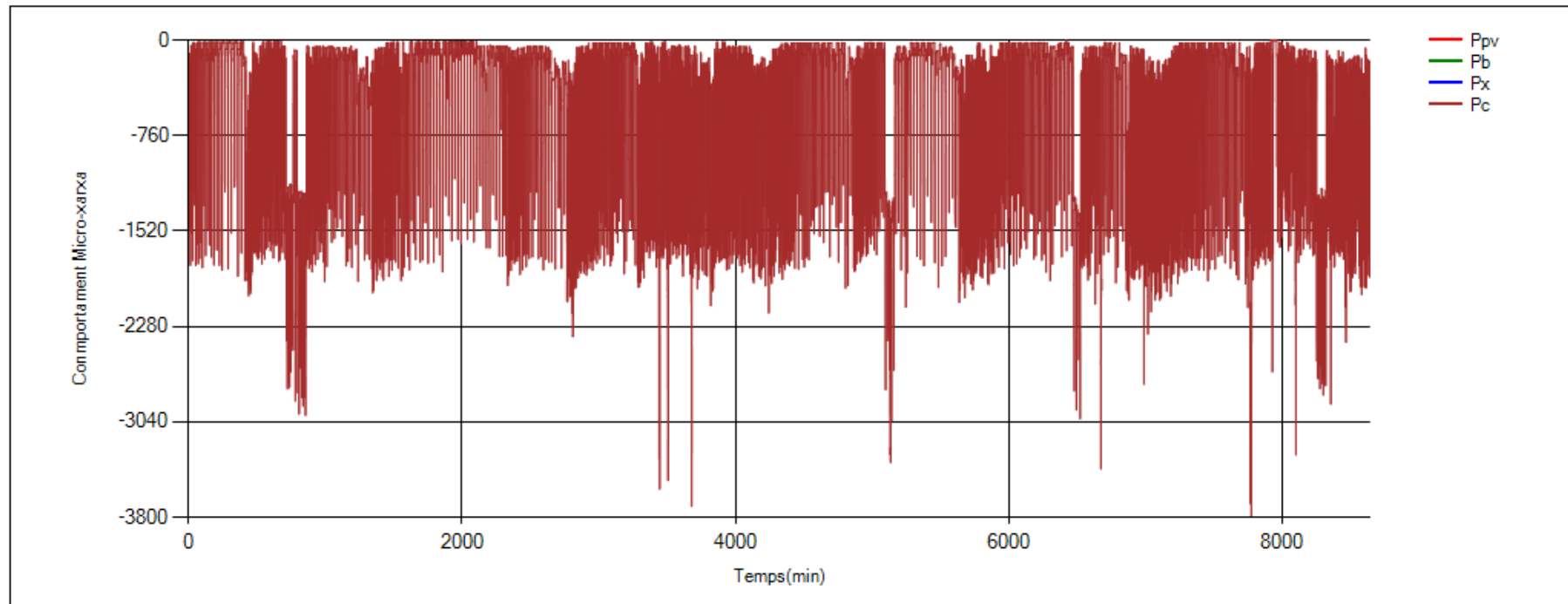




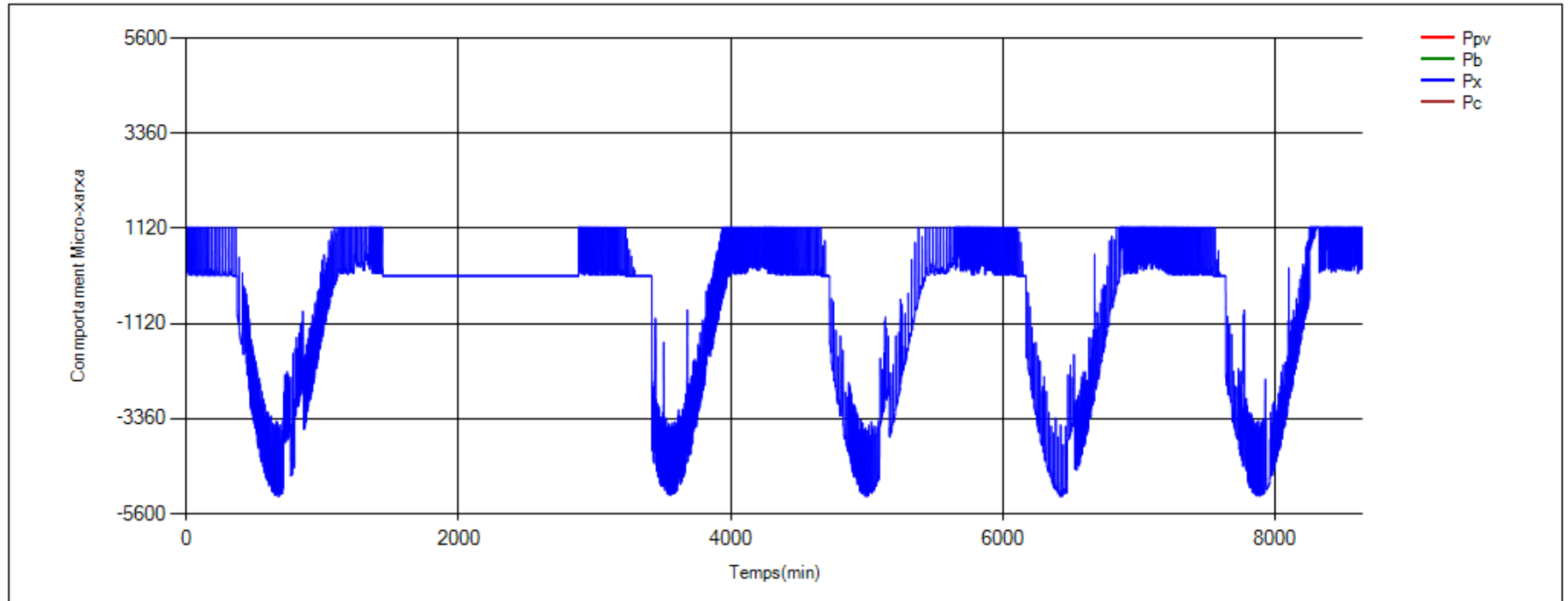
**Figura 61.** Detall de la figura 59. Gràfica de la potència a les bateries i en W en funció del temps en minuts quan la xarxa es desconnecta el segon dia. En la segona gràfica es mostra el nivell de càrrega de les bateries en tant per 1. Font: generació pròpia.



**Figura 62.** Detall de la figura 59. Gràfica de la potència de les càrregues en W en funció del temps en minuts quan la xarxa es desconnecta el segon dia. Font: generació pròpia.



**Figura 63.** Detall de la figura 59. Gràfica de la potència de la xarxa en W en funció del temps en minuts quan la xarxa es desconnecta el segon dia. Valors negatius signifiquen injecció. Font: generació pròpia.





## 8 Anàlisi de l'impacte ambiental

La situació global en temes ecològics es troba a un estat molt crític. Des de fa més de vint anys, el nivells de consum de la població mundial estan a un 56% per sobre de les capacitats del planeta i, per tant, es necessitarien 1 Terra i mitja de recursos per mantenir els actuals (vegi's a la imatge).



**Figura 64.** Petjada de carboni per càpita en hectàrees globals. Font: [www.myfootprint.org](http://www.myfootprint.org)

Segons l'estudi de la Qualitat de l'aire del 2016 de l'Agència Europea del MedioAmbient AEMA, s'emeten 75 milions de tones de diòxid de carboni anuals i encara que hi ha hagut avanços, les mesures aplicades no són suficients. A més, el 90% de la població urbana s'exposa cada dia a nivells més elevats dels recomanats per la OMS de partícules contaminants.

Una de les maneres més contribuents a la disminució de les emissions de gasos contaminants i l'impacte ambiental és utilitzar fonts d'energies renovables.

Les emissions d'energia fotovoltaica són aproximadament d'entre 25 i 32 g/kWh, podent-se reduir fins a 15 g/kWh segons la tecnologia usada. Si es compara amb una central de cycle combinat alimentada per gas, les emissions són d'uns 400 g/kWh i les de carbó, són de 200 g/kWh. Només l'energia eòlica produeix menors emissions amb 11 g/kWh [19].

Per l'avaluació de l'anàlisi ambiental d'aquest treball es consideraran els elements que s'han introduït d'energia renovable, principalment, els panells monocristal·lins i les bateries de plom àcid.

S'estima que amb la instal·lació fotovoltaica d'una potència de 5,4 kW s'ha evitat 3825 kg de diòxid de carboni. Dit d'una altra forma, instal·lant aquesta potència evitariem les emissions de diòxid de carboni que absorbirien 459 arbres.

En quant a les bateries, tenen dues substàncies que poden ser nocives: l'electòlit d'àcid per la seva corrositat i el plom, és tòxic per a les persones si és inhalat o ingerit. Per aquest motiu, s'ha assegurat que les bateries siguin totalment reciclables. A més a més, les bateries regulades per vàlvula (VRLA) són bateries en les quals l'emissió de gasos produïts per l'electròlisi de l'electrolit és controlat automàticament per una vàlvula sensitiva a la pressió. És per aquest motiu que les bateries eviten les fugues i la contaminació d'electrolit i minimitzen l'emissió de gasos. [20]

## Conclusions

### Objectius personals assolits

Amb la realització d'aquest projecte, s'ha aconseguit aplicar una metodologia per la resolució i l'estudi d'un tema concret: les micro-xarxes.

El treball ha permès que els coneixements adquirits durant el grau d'enginyeria elèctrica es pogués aplicar, fent émfasi a totes les parts que comportaria un projecte d'enginyeria: primer, la recerca, segon, el disseny de la proposta i, per últim l'aplicació del disseny en un cas específic.

En definitiva, s'ha aconseguit que es puguin consolidar coneixements i aprendre'n de nous que serviran per la futura carrera professional.

### Objectius assolits pel treball

L'objectiu principal assolit ha estat el disseny d'un sistema de gestió d'energia a nivell d'habitatge amb l'estratègia de reduir els pics de demanda, demostrant el seu correcte funcionament a través de simulacions amb diferents configuracions. A més a més, això s'ha implementat de manera que aquests pics siguin subministrats per energia renovable utilitzant bateries, de tal manera que s'ha pogut reduir la potència contractada de la xarxa a la mínima possible.

També s'ha aconseguit subministrar per 24 hores l'habitatge en el cas de que hi hagi un període de desconexió de la xarxa convencional. En aquest moment, també s'aconseguiria desplaçar les càrregues no crítiques per tal d'anivellar la corba de consum.

Finalment s'ha arribat fer una valoració de la viabilitat econòmica, emmarcant el projecte dins la legislació actual espanyola.

### Continuació del treball



La continuació del treball seria realitzar les comunicacions del programa dissenyat amb Visual Studio amb el hardware adequat per fer el control per així poder justificar el correcte funcionament no només amb simulacions, sinó també a la realitat.

Es podria aprofitar l'estratègia utilitzada de peak-having per tal de programar la potència màxima segons el preu de l'electricitat (tendria sentit en una tarifació per discriminació horària) o la previsió del temps, mitjançant la connexió del programa amb les corresponents bases de dades.



## Anàlisi Econòmica

En aquest apartat s'analitza econòmicament la proposta. El projecte és avaluat per una quantitat total de 17.697,81 €.

COST TOTAL DE LA INSTAL·LACIÓ	
Concepte	Preu total
Recursos materials	12.101,56 €
Recursos de desenvolupament	2.025,00 €
Recursos d'enginyeria	3.571,25 €
<b>TOTAL</b>	<b>17.697,81 €</b>

**Taula 21.** Avaluació del cost total de la implementació del projecte. Font: generació pròpia.

RECURSOS MATERIALS			
Unitat: Descripció	Quantitat	Preu unitari	Cost total
Mòdul fotovoltaic monocristal·lí Q.Antum Solar Module - 340 Wp del fabricant Hanwha Q cells.	16	215,38 €	4.169,76 €
Bateria SOLAR S12 V/230 A de Capacitat nominal 230 Ah de tecnologia VRLA, del fabricant Sonnenschein.	8	511,10 €	4.947,45 €
Inversor híbrid: Goodwe GW5048D-ES amb BMS i MPPT. 5kW DC input PV, AC output 4,6 kW monofàsics, Vdc bateries 48V.	1	1.559,67 €	1.559,67 €
Estructura de suport coplanar per instal·lacions de 8 mòduls (1850x1000 aprox.) Comprèn: carrils d'alumini, unions entre carrils, subjeccions entre panells.	2	224,00 €	448,00 €
Canal PVC rígid 55x100mm	25	5,67 €	141,75 €
Terminal A d'interconnexió bateries 120 A	16	4,55 €	72,80 €
Cable conductor de coure 0,6/1 kV RZ-K 4mm2	27	0,88 €	23,76 €

Cable conductor de coure 0,6/1 kV RZ-K 6mm <sup>2</sup>	15	0,92 €	13,80 €
Cable conductor de coure 0,6/1 kV RZ-K, 50mm <sup>2</sup>	0,5	8,92 €	4,46 €
Cable conductor de coure 0,6/1 kV RZ-K, 185mm <sup>2</sup>	8	21,02 €	168,16 €
Fusible de 10A i portafusible	2	2,86 €	5,72 €
Protector sobretensions transitòries bipolar (1P+N) 20kA	1	112,50 €	112,50 €
Interruptor seccionador, I=25A, 2P	2	53,69 €	107,38 €
PLC Modelo LOGO 8 SIEMENS 12/24RCEO, Mòdul lògic, PU/I/O: 12/24V DC/Relé, 8 ED (4 EA) / 4 SD; Interfaz Ethernet + Expansion module 4in/4out	1	191,50 €	191,50 €
Armari de connexions	1	24,91 €	24,91 €
MirubeBox v.2	1	109,95 €	109,95 €
<b>SUBTOTAL</b>			12.101,56 €

**Taula 22.** Desglossament del cost dels materials. Font: Generació pròpia.

RECURSOS DE DESENVOLUPAMENT			
Descripció	Hores	Preu unitari	Cost Total
Instal·lació dels panells fotovoltaics	42	25,00 €	1.050,00 €
Instal·lació de les bateries	18	25,00 €	450,00 €
Cablejat i connexions	16	25,00 €	400,00 €
Comprovacions i posada en marxa	5	25,00 €	125,00 €
<b>SUBTOTAL</b>			2.025,00 €

**Taula 23.** Desglossament del cost del desenvolupament. Font: Generació pròpia.

RECURSOS D'ENGINYERIA			
Descripció	Hores	Preu unitari	Cost total
Director del projecte	25	40,00 €	1.000,00 €
Enginyeria tècnica elèctrica	50	28,00 €	1.694,00 €
Programació HEMS	20	25,00 €	605,00 €
Documentació Administrativa	15	15,00 €	272,25 €
<b>SUBTOTAL</b>			<b>3.571,25 €</b>

**Taula 24.** Desglossament del cost dels recursos de l'enginyeria. Font: Generació pròpia.

### Estudi de la viabilitat econòmica

A dia d'avui, segons la normativa estudiada en apartats anteriors, per una potència menor a 10kW (modalitat tipus 1) no s'ofereix cap retribució per la potència abocada a la xarxa.

Tenint en compte això, la viabilitat econòmica es calcularà amb l'estalvi de la factura elèctrica que provocaria la modificació de la instal·lació amb un sistema HEMS.

Per això, s'han recopilat l'import de les factures en l'últim any.

Facturació de la comercialitzadora (Cada període comprèn dos mesos)	Import (eur)
<b>Període 1</b>	153,20 €
<b>Període 2</b>	113,30 €
<b>Període 3</b>	135,30 €
<b>Període 4</b>	145,67 €
<b>Període 5</b>	149,62 €
<b>Període 6</b>	168,61 €

<b>TOTAL per l'any 2016</b>	<b>856,70 €</b>
-----------------------------	-----------------

**Taula 25.** Taula dels imports de la facturació de la comercialitzadora per l'habitatge estudiat. Font: Generació pròpia.

#### **Càlcul de la facturació en cas de la instal·lació del HEMS.**

S'ha pogut comprovar per les simulacions que l'energia consumida de xarxa el dia 10 d'abril fou de 3,53 kWh. A més, fixant la potència màxima contractada a 1,15 kW.

Sabent que l'import fix per aquest període és de 38,043426 €/kW·any i si realitzem el càlcul per 60 dies de facturació, el cost fix per un període és de 7,19 €.

Els costos variables es calculen aproximant el cost de l'energia a 0,044027€/kwh (només amb la contractació d'una franja horària, ja que és el que es té contractat actualment). Si prenem 3,53 kWh consumits per dia, ens surt un total de 9,32 € per 60 dies. En taula següent es resumeixen els càlculs

<b>Càlcul de la nova facturació elèctrica</b>		
<b>Concepte</b>	<b>Import fix</b>	<b>Import variable</b>
<b>Potència contractada/ Energia consumida per dia</b>	1,15 kW	3,53 kWh
<b>Preu fixat</b>	38,043426 €/kW·any	0,044027€/kwh
<b>Dies de facturació pel període</b>	60 dies	
<b>SUBTOTAL</b>	7,19 €	9,32 €
<b>TOTAL/ període (2 mesos)</b>	16,51 €	

**Taula 26.** Taula resum del càlcul de la nova facturació en haver instal·lat el HEMS. Font: Generació pròpia.

Per tant, s'ha estima que per un període la facturació seria de 16,51 € per un període de alta irradiància.

Per calcular el cost total anual i, per tenir en compte, els mesos de més baixa irradiància, es calcularà amb la següent fórmula:

$$Cost_{anual} = 3 \text{ períodes} \cdot Cost_{IrradiànciaAlta} + 3 \text{ períodes} \cdot 2 \cdot Cost_{IrradiànciaAlta} \quad (\text{Eq. 8.1})$$

Així el cost total anual és de: 148, 65 €.

$$Estalvi_{anual} = Cost_{senseHEMS} - Cost_{ambHEMS} = 865,70 - 148,65 = 715,05€ \quad (\text{Eq. 8.2})$$

Tenint en compte la xifra del cost d'inversió inicial, i l'estalvi calculat amb la fórmula anterior, i suposant un taxa d'increment del 3% per any, la instal·lació s'amortitzaria a partir de l'any 23.

Aquesta xifra és el resultat de l'aplicació d'una normativa que no incentiva les energies renovables ni l'aplicació d'un altre model que permeti millorar l'eficiència energètica. L'inconvenient més gran és que l'energia abocada a xarxa, actualment no pugui ser retribuïda. En un futur canvi de normativa s'espera que aquest escenari canviï i des de l'Estat es promoguin estratègies com el net metering o la retribució per energia abocada.



## Bibliografia

- [1] Kals, J. *ISO 50001 Energy Management Systems*. ISBN 9781631570094.
- [2] Losana, Trabas al autoconsumo de energía eléctrica. A: *Aranzadi*. 2017, p. 1-15.
- [3] Vérguez, J.C. A vueltas con la nueva regulación del autoconsumo eléctrico y con la aplicación del llamado «impuesto al Sol»: algunas consideraciones. A: *Aranzadi*. 2017, p. 1-15.
- [4] Llei 24/2013, del 26 de desembre. Boletín Oficial del Estado, 27 de desembre del 2013, núm. 310, p. 105198-105294, Espanya 2013.
- [5] RD 900/2015, del 26 de desembre. Boletín Oficial del Estado, 10 de juny del 2014, núm. 140, p. 43876-43978, España 2015.
- [6] RD 1164/2001, de 26 d'octubre, publicat al BOE núm. 268 el 08 de Novembre de 2001, España.
- [7] Ordre IET/107/2014, del 31 de gener, publicat al BOE núm. 28 el 01 de Febrer de 2014, España.
- [8] Ordre ETU/1976/2016, de 23 de desembre, publicat al BOE núm. 314 de 29 de Desembre de 2016, España.
- [9] REE. Red Eléctrica de España. Accés web: <http://www.ree.es/es/> Data de consulta: Juny de 2017.
- [10] Microgrids in the Evolving Power System. PewTrusts. Accés web: [http://www.pewtrusts.org/~media/assets/2016/02/why\\_and\\_how\\_microgrid\\_technology\\_is\\_a\\_good\\_power\\_source](http://www.pewtrusts.org/~media/assets/2016/02/why_and_how_microgrid_technology_is_a_good_power_source) Data de consulta: Juny 2017.
- [11] Guillelm Ribé. *Desenvolupament d'un sistema de gestió d'energia per a una microxarxa híbrida*. Trabajo de Final de Grado de la Universidad Politécnica de Cataluña, 2016.
- [12] Microgrids at Berkeley Lab. Accés web: <https://building-microgrid.lbl.gov/types-microgrids> Data de consulta: Juny de 2017.
- [13] Velasco, G. et al. Gestión de Energía en Sistemas Híbridos Red- FV-Diésel en el Proyecto MED-Solar. A: . 2014, p. 25-27.
- [14] Velasco, G. et al. Peak Shaving en Palestina Mediante Generación Fotovoltaica y Baterías. p. 176-181.
- [15] Gráficos Significativos energía solar fotovoltaica, enero 2017. Accés web: [http://www.ies.upm.es/sfs/IES/IESUPM/Portada/2017\\_01\\_17%20datos%20fotovoltaica%20en%20Espana%20C3%B1a](http://www.ies.upm.es/sfs/IES/IESUPM/Portada/2017_01_17%20datos%20fotovoltaica%20en%20Espana%20C3%B1a) Data de consulta: Juliol de 2017.

- [16] Quaschnig, V. *Understanding Renewable Energy Systems*. ISBN 1844071286.
- [17] Rekioua, D.; Matagne, E. - Optimization of Photovoltaic Power Systems. Modelization, Simulation and Control (2012).
- [18] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Accés web: [www.idae.es](http://www.idae.es) Data de consulta: Agost de 2017.
- [19] Reducció d'emissions de carbó. Accés web: <https://unchronicle.un.org/es/article/la-promesa-de-la-energ-solar-estrategia-energ-tica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en> Data de consulta: Agost 2017.
- [20] Informe de la qualitat de l'aire 2016. Accés web: <https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-calidad-aire-2016> Data de consulta Agost 2017.
- [21] Guia de l'emissió de l'aire 2016. Accés web: [http://www.sinia.cl/1292/articles-47018\\_recurso\\_1](http://www.sinia.cl/1292/articles-47018_recurso_1) Data de consulta Agost 2017.



## Annex A

- Fulla de característiques dels panells fotovoltaics
- Fulla de característiques de l'inversor
- Fulls de característiques de les bateries
- Taula del càlcul de seccions
- Esquema Unifilar de la instal·lació



## Taula del càlcul de seccions

Tram	$I_{\text{disseny}}$ (A)	L (m)	$\rho$ (mm <sup>2</sup> Ω)	$cdt_{\text{max}}$	Voltatge (V)	Secció calculada (mm <sup>2</sup> )	Seccio normalitzada (mm <sup>2</sup> )	$cdt_{\text{max}}$	$I_{\text{max}}$ (A)
Secció string PV	$1,25 \cdot 9,59 =$ 11,9875	27	0,023	0,01	376,56	3,95	4	0,0098	46
Bateries- Inversor	$4600 \cdot 1,2 / 48 =$ 115	8	0,023	0,005	48	176,33	185	0,0047	391
Secció bateries string	$4600 \cdot 1,2 / 49 =$ 115	0,5	0,023	0,005	12	44,08	50	0,0044	167
Secció inversor AC	$1,25 \cdot 20 =$ 25	15	0,023	0,015	230	5	6	0,0125	49



